Government of Canada
Canadian Forestry Service

Gouvernement du Canada
Service canadien des forêts

Estimating the buffer required around water during permethrin applications

N. Payne, B. Helson, K. Sundaram,
P. Kingsbury, R. Fleming, P. deGroot

Information Report FPM-X-70
Forest Pest Management Institute

93-02833/

Frontispiece caption: *View of site looking in a nearly upwind direction from nearby sampling station furthest downwind.*

ESTIMATING THE BUFFER REQUIRED AROUND WATER DURING PERMETHRIN APPLICATIONS

INFORMATION REPORT FPM-X-70

N. PAYNE, B. HELSON, K. SUNDARAM, P. KINGSBURY, R. FLEMING, P. de GROOT

FOREST PEST MANAGEMENT INSTITUTE
GOVERNMENT OF CANADA
CANADIAN FORESTRY SERVICE
1219 QUEEN STREET EAST
P.O. BOX 490
SAULT STE. MARIE, ONTARIO
P6A 5M7

1986

© Minister of Supply and Services Canada, 1985

Catalogue No. Fo46-16/70E

ISSN: 0704-772X

ISBN: 0-662-14797-9

Additional copies of this publication are available from:

Liaison and Information Services
Forest Pest Management Institute
Canadian Forestry Service
Department of the Environment
P.O. Box 490
Sault Ste. Marie, Ontario
Canada, P6A 5M7

Cette publication est aussi disponible en français sous le titre *Délimitation des zones tampons autour des plans d'eau lors des épandages de perméthrine.*

ABSTRACT

This study was conducted to design a scientific approach, and gather data for use in setting buffers required during forestry permethrin applications. Ground-based and aerial applications were studied separately because of important differences between the two, e.g. cloud release height, which result in different downwind spray deposits. To overcome the problem of the multiplicity of buffers required with different meteorological conditions, droplet size spectra, etc., a reasonable worst case scenario was chosen, and data collected for this case. In order not to make buffers unnecessarily large, upwind, crosswind and downwind spray cloud dispersal were considered separately. The study comprised an experiment to measure spray deposit on water surfaces at different downwind distances from a spray line, and a second to measure the mortality concentration relationship for two sensitive indicator species, *Aedes aegypti* mosquito larvae, and *Gammarus pseudolimnaeus* water shrimps. A mathematical model based on spray cloud dispersal measurements was used to calculate spray deposit on a water surface from multiple swath applications. Mortality in populations of the two indicator species, and rainbow trout was estimated using model results, and measured mortality-concentration relationships. As a check on the model, predicted mortality was compared with mortality measurements made in bioassays carried out during the spray trials. Downwind buffers of 15 and 230 m respectively for ground-based and aerial forestry permethrin applications, with a.i. application rates of 35 g/ha or less would limit water shrimp mortality to about 10% in ½ m water depths. Crosswind buffers of 5 and 40 m respectively would provide similar protection.

RÉSUMÉ

La présente étude a été entreprise en vue d'élaborer une démarche scientifique et de réunir des données devant servir à la délimitation des zones tampons devant être établies pour les épandages de perméthrine sur les forêts. Les épandages au sol et aériens ont été étudiés séparément en raison des différences importantes entre les deux, par example la hauteur de libération du nuage de gouttelettes, qui donne lieu à une dispersion différente de l'insecticide. Vu la multiplicité des zones tampons requises pour différentes conditions météorologiques, divers spectres de taille des gouttelettes, etc., on a décidé de faire appel à un scénario raisonnable de pire éventualité et de recueillir les données pour ce scénario. Pour que les zones tampons ne soient pas excessivement larges, on a examiné, séparément, la dispersion du nuage de gouttelettes en amont, en aval et latéralement par rapport au vent. L'étude comprenait une expérience consistant à mesurer le dépôt sur l'eau à différentes distances sous le vent de la rampe de pulvérisation et une deuxième expérience visant à mesurer la relation concentration-mortalité chez deux espèces indicatrices sensibles: les larves du moustique *Aedes aegypti* et le gammare *Gammarus pseudolimnaeus*. Un modèle mathématique construit à partir des mesures de la dispersion des nuages de gouttelettes a été employé pour calculer le dépôt à la surface de l'eau à la suite d'applications comportant des passages multiples. La mortalité chez les populations des deux espèces indicatrices et de la truite arc-en-ciel a été estimée à partir des résultats du modèle et des rapports établis concentration-mortalité. Aux fins de vérification du modèle, la mortalité prévue a été comparée aux résultats de bio-essais effectués durant les expériences d'arrosage. Des bandes tampons de 12 et 230 m en aval du vent respectivement pour les épandages au sol et aériens de perméthrine sur les forêts à des doses inférieures à 35 g/ha d'ingrédient actif limiteraient la mortalité des gammares à environ 10 % dans des profondeurs d'eau de ½ m. Des bandes tampons de 5 et 40 m respectivement dans le sens latéral par rapport au vent offriraient une protection similaire.

TABLE OF CONTENTS

	Page
ABSTRACT	1
RESUMÉ	1
INTRODUCTION	1
PROBLEM ANALYSIS	1
Worst case analysis	3
Meteorological variables	3
Plant canopy variables	4
Spray application variables	4
Ground applications	4
Aerial applications	5
Variables related to biological effect	5
Mathematical modelling variables	7
MATERIALS AND METHODS	7
Spray cloud dispersal experiment	7
Site and canopy	7
Meteorological measurements	8
Spray application parameters	8
Spray cloud dispersal measurements	9
Residue analysis	10
Mortality measurements	10
RESULTS AND DISCUSSION	11
Meteorological measurements	11
Spray deposit measurements	11
Mortality measurements	12

.....cont'd

TABLE OF CONTENTS (concl'd)

Page

Modelling spray deposit from multiple swaths 13

Estimating level and importance of biological effect of water surface deposit . . 13

Model test using bioassay data 16

Crosswind and upwind buffers 16

CONCLUSIONS. 17

ACKNOWLEDGEMENTS 19

LITERATURE CITED 19

INTRODUCTION

Permethrin (NRDC 143 3-phenoxybenzyl (±)- *cis, trans*. -2,2-dimethyl-3- (dichlorovinyl) cyclopropane carboxylate) is a synthetic pyrethroid insecticide with a high level of toxicity to a broad spectrum of insects, and low mammalian and bird toxicity. It is potentially very useful for managing forest insect pests (Elliot et al. 1978). However because of its high toxicity to aquatic arthropods and fish (Anderson 1982; Jolly et al. 1978), care must be taken to prevent spray applications that cause significant damage to the aquatic environment. Sosiak (1983) has demonstrated that forestry permethrin applications are unlikely to cause direct fish mortality. However the same investigation demonstrated severe disturbances to aquatic invertebrate communities, which may affect fish populations by food supply disruption.

Buffer zones allow pesticide impact on the aquatic environment to be controlled by setting a minimum distance between treatment area and water body. However buffers should not be unnecessarily large because this impedes efficient forest management. The present study was undertaken at the request of Pesticides Division, Agriculture Canada, to design a scientific approach, and gather data which could be used to set buffers required around water during forestry permethrin applications. This report is written with the aim of providing a concise account of this investigation, which spans several disciplines. In the interests of brevity, and to facilitate comprehension, treatment of most topics is brief. This approach is taken to assist the reader in using the report. More complete descriptions of some component parts of the investigation will be given in future publications.

PROBLEM ANALYSIS

The scientific approach taken to buffer estimation was based on the assumption that the worst case operational scenario should be used in setting the buffer. The reason for this is that in reality the buffer required varies according to many factors, e.g., the state of the atmospheric boundary layer (Pasquill 1974), structure of the plant canopy (Thom 1975), spray cloud droplet size spectrum and release height (Pasquill 1974), volume and active ingredient (a.i.) application rates and the number and spacing of the swaths laid. The physical and biological characteristics of the buffered water body, e.g., still or flowing water, water depth, will introduce further variations in the required buffer.

Because of the large number of possible combinations of these variables and resulting buffers, and the impracticability of defining and regulating many different buffers, this problem is best resolved both experimentally and for regulatory purposes with a worst case scenario. In this study circumstances were chosen to give the widest buffer likely to be needed to protect a water body, i.e., limit damage to an acceptable level. The worst case chosen was one which could occur operationally and would maximize spray deposit and biological effect on a water body outside the treatment area.

The problem of setting a buffer was split into three parts based on the physical and biological reality of the situation. First the amount (g/m^2) of active ingredient (a.i.) deposited on a simulated water surface at various distances from a single swath spray application was measured. Second, the effect of permethrin on the aquatic environment was quantified, i.e., mortality measured for various a.i. concentrations (g/m^3) in water. Third, mortality

resulting from use of various buffers was estimated from a model based on spray deposit and mortality data.

The required experimental data were obtained from two experiments. First, an experiment was carried out to measure spray deposit on a simulated water surface at different distances from single track spray applications, using worst case meteorological and spray application conditions. Second, the mortality-concentration relationship was measured, by exposing organisms of a sensitive indicator species to known a.i. concentrations, and quantifying resulting mortality.

Finally, the mortality resulting from various buffer widths was estimated. Using a model of spray cloud dispersal developed in this investigation, and based on experimental data from it, water surface deposit was calculated at different distances from an operational, multiple swath application. This deposit was then converted into the corresponding water concentration by assuming uniform mixing into various water depths. Indicator species mortality was then obtained from the mortality-concentration relationship. From mortality predictions with various buffer widths, suitable buffers can then be selected.

As a check on the accuracy of model results organisms were also exposed at different distances from a spray swath, and predicted mortality was compared with that observed.

Some preparatory comments on spray cloud dispersal may be of use to the reader. The most effective natural process for a.i. dispersal, leading to water pollution, is by fluid transport, by air or water. However because we are concerned with protecting water bodies we only need consider atmospheric transport of a.i.

When considering spray cloud dispersal from a pesticide application, droplet size is a key variable. If spray applications are made with 'large' droplets, e.g., 1000 μm in diameter, the buffer needed is relatively small. This is because such droplets have a large fallspeed, about 4 m/s (Fuchs 1964), and when released above the treatment area can only be moved a short distance from the release point before deposition. However when making ultra-low volume (ULV) applications droplet sizes are typically 50-100 microns (Matthews 1979), with fallspeeds less than 1/4 m/s. In this case droplets may be moved greater distances from the release point before deposition.

Releasing a ULV spray cloud in the atmosphere is analogous to releasing dye into a stream. Like the dye, the cloud is moved along by the air at its average speed, a process called advection, and also like the dye it spreads out alongwind and crosswind in the vertical and horizontal directions, a process called atmospheric diffusion, which is caused by turbulence.

Droplet transport by advection and atmospheric diffusion occurs at different rates and therefore when setting buffers it is important to consider wind direction, in relation to the treatment area and water body. For example the downwind buffer required is much larger than the crosswind one, because advection is a much quicker transport process than atmospheric diffusion. In order not to make buffers needlessly large they must be set separately for the upwind, downwind and crosswind directions. This report provides information for setting all three types.

Cloud dispersal in various types of atmospheric boundary layer has been measured by various investigators, and a good summary of these results has been made by Pasquill (1974). For the purposes of this study

these published results are thought to be adequate for setting some upwind and cross-wind buffers. However to estimate a sufficient but not unnecessarily large downwind buffer, experimental data were required for the worst case conditions under which ULV permethrin sprays would be made.

Worst case analysis

A worst case analysis for each of the three parts of the investigation is now presented. Spray cloud dispersal variables fall into three categories, those related to meteorology, plant canopy and spray application.

Meteorological variables

Meteorological variables to be considered in setting up a worst case scenario are atmospheric boundary-layer stability, windspeed, relative humidity and air temperature.

The importance of atmospheric stability lies in its effect on average horizontal downwind windspeed profile and on the intensities of turbulence, through enhancement or damping of vertical mixing. For similar geostropic winds, windspeed near the ground decreases with increasing stability (Pasquill 1974). Atmospheric boundary-layer stabilities include stable, unstable and neutral (Sutton 1953). Stable conditions are normally found at night and around dawn and dusk, whereas unstable conditions are found during daylight hours, when significant insolation occurs. Neutral conditions are usually found in overcast conditions and for short periods near dawn and dusk (Sutton 1953).

Stable conditions have been, and in regulatory terms still are favoured for minimizing drift. However current informed scientific opinion is that unstable or neutral conditions minimize drift (Crabbe et al. 1983, 1984, Crabbe and McCooeye 1985). This is partly because windspeeds in the canopy are higher in unstable and neutral conditions than in stable ones (Sutton 1953), and hence favour inertial impaction which is the most important mechanism for depositing small droplets (Chamberlain 1975) and hence reducing drift. Also in unstable and neutral boundary layers intensities of turbulence are greater (Pasquill 1974), and so a spray cloud is more quickly spread vertically after release and canopy deposit peaks closer to release than in a stable layer (Crabbe et al. 1980), thereby increasing the chance of droplet impaction close to release. The worst case, which maximizes drift, is therefore to use a stable boundary-layer.

Another important meteorological variable is windspeed. Droplet deposit on a water surface occurs at a rate proportional to the droplet concentration in the air above (Pasquill, 1974). Increased windspeed has been shown to reduce droplet concentration near the ground (Crabbe and McCooeye, 1985). This trend was also observed by Joyce et al. (1981). This is partly because droplet impaction efficiency increases with windspeed (May and Clifford, 1967). The worst case is therefore to use light winds but not calm conditions (Beaufort force 1-3, <14 kmph at 10 m).

Relative humidity (R.H.) is also of importance when using water-based sprays (Green and Lane 1964). Droplet impaction efficiency increases with droplet diameter (May and Clifford 1967), so increased drift will result from an increased rate of droplet evaporation. Because increased R.H. slows evaporation (Rogers 1979), the worst case is to use low R.H. for the range encountered while spraying.

Air temperature also affects droplet evaporation rate (Green and Lane 1964), and therefore indirectly affects droplet impaction efficiencies and drift. Because increased air temperature increases droplet evaporation rate, the worst case is to use high air temperatures for the range encountered while spraying. In summary, the worst case combination of meteorological parameters for ULV spray applications is a stable boundary-layer, light wind, low relative humidity, and high air temperature.

Plant canopy variables

The second category of variables affecting spray cloud dispersal relate to the plant canopy, which plays an important role in spray cloud dispersal, by modifying the atmospheric boundary layer, and by filtering the cloud. The most influential plant canopy parameters are height, plant density (plants/m^2) and canopy structure.

Canopy height and plant density are key variables in determining aerodynamic roughness of the canopy (Jackson 1981), and hence drag on the air passing over it. Increasing aerodynamic roughness causes more drag and results in more turbulence in the atmospheric boundary layer (Panofsky and Dutton 1984), which in turn causes the spray cloud to be diluted more quickly and reduces droplet concentration near the ground. This in turn reduces spray deposit. A high plant density gives low canopy roughness because the roughness elements are close, and air motion between them is restricted. The worst case is a canopy with low aerodynamic roughness, i.e., a small canopy with high plant density because this results in high droplet concentration near the ground, and hence high spray deposit.

Plant canopy effectiveness in filtering a spray cloud depends largely on leaf size and shape, which fall into deciduous or coniferous categories. In operational use permethrin will be applied in predominantly coniferous canopies, and so to combine these requirements the worst case canopy was taken to be a coniferous plantation, with short tree height and typical planting density.

Spray application variables

The third category covers spray application variables, including droplet size spectrum, tank mix volatility, spray cloud release height, volume and a.i. application rates, and the number and spacing of swaths. To ensure that the worst case scenario was relevant, these parameters were constrained to those which are operationally used.

Droplet size spectrum in a spray application is determined by the atomiser type and settings, atomiser airspeed, and the physical characteristics of the tank mix. The worst case is to use the smallest operational droplet size spectrum, i.e., ULV type because this minimizes deposition, and hence maximizes drift.

Because of the different atomisers employed, different cloud release heights etc., ground-based and aerial applications were considered separately.

Ground applications

The following worst case was used for ground-based applications. To provide an operational ULV droplet size spectrum an airblast sprayer was selected. Because the chosen canopy was small, a knapsack mistblower was the logical choice, orchard sprayers being intended for use in tall stands. Mistblower settings were chosen to generate the finest operational spectrum,

i.e. maximum air-blast, minimum flow rate, and employing a ULV (spinning disc) attachment. To imitate operational practice a water-based tank mix was used, the atomiser speed was walking pace, and spray was directed downwind from near waist height.

Aerial applications

For aerial applications the rotary-type atomiser was chosen to generate a ULV spectrum. The worst case was based on the Micronair AU3000, set to give high cage rotation rate, and a fine droplet size spectrum. A water-based tank mix, and air-speed and release height typical for a small aircraft making a ULV application to a high value stand were used to imitate operational practice.

Worst case conditions for tank mix volatility were obtained by using water which has a high vapour pressure amongst those liquids used in ULV pesticide applications (Matthews 1979; Riddick and Bunger 1970). A high volatility tank mix results in fast droplet evaporation, which in turn decreases droplet deposition rate and increases drift.

The worst case permethrin application rate used in the investigation was the maximum allowed by Agriculture Canada for ground-based applications, 35 g/ha. Volume application rates (L/ha) were estimated from foliar droplet density requirements, leaf area index for a coniferous canopy, and a representative droplet size for the atomisers, settings, and tank mix used for each application. A planned average foliar droplet density of about 30/cm^2 (Joyce et al. 1981), a leaf area index (silhouette area) of 3 (Joyce et al., 1981), a representative droplet size of 50 µm for the ground-based application (Clayphon 1974), and 75 µm for the aerial application (Matthews 1979) were used in making the estimate. This gave volume application rates of about 1 and 4 L/ha, respectively for ground based and aerial applications. Flow rates were calculated from atomiser speeds, and typical operational swath widths (Matthews 1979).

Variables related to biological effect

The biological impact of permethrin on aquatic organisms is influenced by several factors, including the amount of permethrin entering the water body, the permethrin formulation, organism sensitivity and behaviour, dilution factors such as surface to volume ratio, water flow and rainfall, water quality factors such as pH, ionic content, and suspended solids, the type and amount of substrate and other factors affecting adsorption, and meteorological factors such as temperature and light.

In quantifying the mortality-concentration relationship for permethrin the following worst case was used. First, the formulation was typical of the water-based permethrin emulsions used in forestry applications. The organisms employed in the investigation were *Aedes aegypti* mosquito larvae (Insecta:Diptera), and *Gammarus pseudolimnaeus* water shrimps (Crustacea:Amphipoda). Both are sensitive to permethrin (Table 1), and exhibit a response similar to a number of arthropods.

Dilution factors were not considered in the worst case for this part of the investigation, but in the modelling section instead. Water quality factors were set by using river water for the mortality-concentration experiment, thereby ensuring typical values of pH, ionic content, etc. Because permethrin is a lipophilic compound, nearly insoluble in water and quickly adsorbed onto organic matter (Sharom and Solomon, 1981), solid matter present in water samples com-

Table 1. Toxicity of permethrin to various fish and aquatic arthropods

Species tested	Material tested[a]	Test conditions[b]/ temperature (°C)	Toxicity	Toxicity value (ppb)	Reference
Fish					
Rainbow trout *(Salmo gairdneri)*	EC	S/12-26	24 h LC 50	8.0	Mulla et al. 1978b
	EC	C/13	24 h LC 50	115	NRCC 1986
Brook trout *(Salvelinus fontinalis)*	T	C/13	24 h LC 50	72	NRCC 1986
Atlantic salmon *(Salmo salar)*	T	S/12	24 h LC 50	2.2	NRCC 1986
Coho salmon *(Oncorhynchus Kisutch)*	T	S/12	24 h LC 50	25	NRCC 1986
Arthropods					
Mosquito larvae *(Aedes aegypti)*	EC	S	72 h LC 50/LC 95	1.3/6.9	(present study)
Water shrimp *(Gammarus pseudoiimnaeus)*	EC	S	48 h LC 50/LC 95	0.37/0.61	(present study)
Burrowing mayfly nymph *(Hexagenia rigida)*	-	S	6 h LC 50	0.58-2.06	Friesen 1981
Mayfly nymph *(Baetis rhodani)*	EC	C	LC 90-95 24 h after 1 h exposure	1.0	Muirhead-Thompson 1978
Caddisfly larvae *(Hydropsyche pellucidula)*	EC	C	LC 90-95 24 h after 1 h exposure	100.0	Muirhead-Thompson 1978
Brachycentrus subnubilis	EC	C	LC 90-95 24 h after 1 h exposure	1.0	Muirhead-Thompson 1978
Water flea *(Daphnia magna)*	T	S/20	48 h LC 50	0.2-0.6	Stratton and Corke 1981
Water louse *(Asellus aquaticus)*	T	S&C/20	Lethal threshold	0.3	Abram et al. 1980
Freshwater shrimp	EC	C/17.5	LC 90-95 24 h after 1 h exposure	1.0	Muirhead-Thompson 1978
Crayfish *(Procambarus clarkii)*	EC	S/24	96 h LC 50	0.39	Jolly et al. 1978

[a] T = Technical material (a.i.) EC = Emulsifiable concentrate
[b] S = Static C = Continuous flow

prised only the small amount of suspended sediment present in the river water, thereby limiting removal by adsorbtion.

Mathematical modelling variables

Mathematical modelling was carried out to predict mortality resulting from use of different buffers around multiple swath applications. In considering buffer sizes it was important to take into account the effect of multiple swathing, because total a.i. applied increases with swath number, and this in turn increases the required buffer. A computer-based model, which calculated water surface spray deposit with measurements of deposit from a single swath application, was used to take into account multiple swathing effects.

Buffer width required around a pesticide application increases with the total amount of a.i. applied, which depends on the a.i. application rate, and area sprayed. The a.i. application rate was taken to be the maximum allowed value. The largest treatment area likely for each application type was also used.

Two additional assumptions, associated with the buffered water body, were made in modelling. First, still, as opposed to flowing, water was used for the model. This is worst case because a.i. is more quickly diluted in flowing water than in still water, so reducing mortality. Secondly, to calculate permethrin concentration in water it was assumed that a.i. deposited on the water surface mixed evenly into the water body.

MATERIALS AND METHODS

Spray cloud dispersal experiment

Site and canopy

The site chosen for the spray cloud dispersal experiment was a nearly flat area of about 18 ha, near grid reference 83°34'W, 46°28'N. With the wind direction chosen for the spray trials the upwind fetch was about 2 km of nearly flat terrain covered with mixed coniferous and deciduous forest with canopy height in the range 3-12 m.

The site bore a coniferous plantation that was planted in 1970 with white spruce, at a density of about 3300 stems per hectare. Crop tree stocking was about 74%. Total stocking was 83%. Canopy composition was measured in 100 milacre plots, laid out in a grid pattern with 20 m by 25 m spacing. Results are shown in Table 2. From the types of roughness elements upwind of, and on the site, the atmospheric boundary-layer with the chosen wind direction was assumed to be typical of a forested area.

Table 2. Plant canopy composition

Species	Plant density (Average stems/ha)	Plant height (avg/S.D.) (m)
White spruce *(Picea glauca* [Moench] Voss)	3287	0.83/0.72
Trembling aspen *(Populus tremuloides* Michx.)	914	2.56/2.43
Jack pine *(Pinus banksiana* Lamb.)	346	1.25/2.07

Meteorological measurements

Meteorological measurements were used to select suitable spraying conditions, and to characterize conditions during spray applications. The windspeed vector was measured at 2 and 10 m above ground level, with propellor-type anemometers mounted on bivanes ('VectorVanes'Mk3, Meteorology Research Inc., Altadena, CA.). These instruments have a threshold speed of about ½ m/s and distance constant of about 0.75 m (manufactureres' specifications). Data from these instruments were also used to estimate turbulence levels.

Air temperatures were measured at the same heights with thermistors (YSI 44018, Yellow Springs Instrument Co., Yellow Springs, Ohio) shaded to prevent radiative heating. Relative humidity during the spray trials was also measured; however, because of turbulent air mixing, measurement at only one position was required to characterize the boundary layer. Electrical signals from the meteorological instruments were sampled at 1 Hz, recorded and processed using a micro-computer based data acquisition system. The spray trials were carried out as planned in a stable atmospheric boundary layer, with low windspeeds, relatively low RH, and moderately high air temperatures.

Spray application parameters

(a) Ground-based application

The planned volume and permethrin application rates were about 1 L/ha and 35 g/ha of a.i. per swath respectively, based on a 10-m swath width. A knapsack mistblower was chosen for this application (Model Solo 423, Solo Kleinmotoren GMBH, 7032 Sindelfingen 6, Postfach 20, West Germany) used with the ULV attachments, including an air-driven spinning disc. The liquid flow rate was about 60 mL/min, to provide the required volume application rate of 1 L/ha per swath, with a 10-m swath width and spray line laid at walking pace, about 1 m/s. The mistblower was operated on maximum motor throttle setting, to provide maximum airspeed. The tank mix was a 3.5% w/w (35 g of a.i. per L of tank mix) emulsion of permethrin in water, prepared from Ambush® 500EC (Chipman Inc., Stoney Creek, Ontario L8G 3Z1).

Spray line configuration was an important feature of the experimental design. Average water surface deposit downwind from a single swath was required for modelling operational multiple swath applications. In the experimental spray application overlaid swaths on a single track were used. Average deposit increment resulting from a single swath was calculated from measured deposits. Because of the use of multiple spray lines and duplicated collectors in this experiment, deposit measurements are effectively averaged, thereby reducing deposit variability caused by atmospheric turbulence, and providing better estimates of average deposit increment from a single swath. In the ground-based application two crosswind spray lines were laid along the same track, each 100 m long. The spray lines were laid at walking pace, about 1 m/s, with the air exhaust held at waist height, about 1.25 m, and directed downwind to imitate operational practice.

The droplet size generated by the knapsack mistblower with the settings and water-based formulation employed was about 50 µm. This estimate is based on Clayphon's (1974) investigation, and uses the fact that in both the present and published investigations, water comprised more than 96% of the tank mix, resulting in similar physical properties (J. Picot, pers. comm.).

Spray line length was sufficient to ensure measured deposits were representative of an infinite length line source, and hence worst case measurements. The significance of line length is discussed briefly by Payne (1983). To accurately calculate the source strength, i.e., grams of a.i. per metre of track, measurements were made of the volume of tank mix before and after the application, and the line length.

b) Aerial application

The planned volume and permethrin application rates were about 4 L/ha and 35 g of a.i. per ha per swath, respectively, based on a 25-m swath width. The aerial pesticide application was made with four Micronair AU 3000 atomisers mounted on a Cessna Ag-truck aircraft. The atomisers were fitted with #20 mesh gauze cages, and blades forming a 34-cm diameter fan, adjusted to a 25° blade angle. The aircraft was flown at about 51.5 m/s (100 knots or 115 mph) giving an atomiser cage rotation rate of about 9.7 krpm. The variable restrictors were set to 9 for all atomisers and a boom pressure of about 200 kPa (30 psi) was used, giving an average flow rate of about 7.5 L/min per atomiser, or 30 L/min in total. Tank mix was a 0.88% w/w emulsion of permethrin in water, prepared from Ambush 500 EC.

Four crosswind spray lines were laid along the same track, each 250 m long, at about 14 m above ground level. The droplet size generated by the Micronair AU3000s with the settings and water-based formulation used was estimated to be about 75 m (Matthews 1979), using similar reasoning to that presented for the ground-based case. Spray lines were sufficiently long to ensure measurements were representative of a worst case infinite length line.

Spray Cloud Dispersal Measurements

Spray deposits on water surfaces at several downwind distances from the spray track were required to set buffers around water bodies, by modelling multiple swath applications. To measure water surface deposit, the spray cloud was sampled with collectors aerodynamically similar to a water surface. Thus air flow over a collector was similar to that over a water surface, and therefore deposition of spray droplets was assumed to be approximately the same.

Each collector comprised a square glass plate with side 0.2 m, placed upon a square plastic sheet with side 2 m, pegged down over a similar area cleared of vegetation. This configuration provided a smooth, slightly undulating surface aerodynamically similar to water. Five collectors were placed at each sampling station arranged in a crosswind line, with 3 m (centre-centre) spacing between collectors as shown in Figure 1(a).

Sampling stations were placed at 30, 50, 100, 150, and 200 m downwind of the spray track for the ground-based application and 50, 100, 200, 400, and 500 m for the aerial application as shown in Figure 1(b). Average wind directions during the trials were within 10° of the planned direction, therefore actual downwind distances of the sampling stations were within 2% of the planned values.

To ensure that the collectors received representative deposits, up to 10 minutes for advection and deposition of the spray cloud was allowed between the final swath and sample collection. Required time was estimated from the windspeed during each experiment.

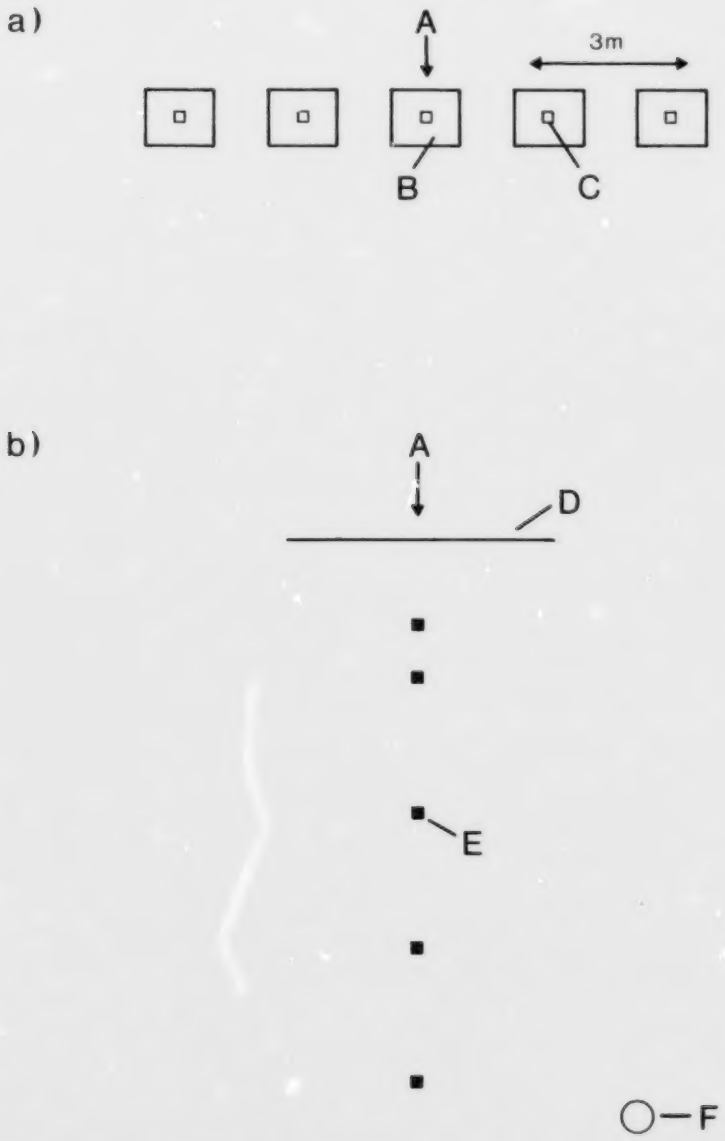


Figure 1. (a) Collector layout at sampling stations.
A-Wind direction, B-Plastic Sheet, C-Glass plate.

(b) Typical layout of experimental site.
D-Spray track, E-Sampling Station, F-Meteorological station.

The procedure for quantifying a.i. was the following. Spray deposits were rinsed from the glass plates as they were collected, using hexane. Each sample included a.i. deposits from all plates at a station. Samples were bottled and immediately placed with ice packs in a cooler, then transported to a freezer for storage at about -4°C. The total amount of a.i. on the five glass plates from each sampling station was quantified by gas chromatography (G.C.), and assumed to approximate average spray deposit (g/m^2) on a water surface at that distance.

Residue analysis

Permethrin quantification by G.C. was carried out as follows. Each sample was dried by passing it through a column of anhydrous Na_2SO_4, and evaporated to a volume of about 2 mL with a flash evaporator. The sample was further reduced to a volume of 1 mL with an N-Evap (Organomation Inc., Shrewsbury, MA, USA). The sample was then cleaned by passing it through Florisil® and charcoal microcolumns.

The G.C. analysis was carried out using an HP 5730A gas chromatograph, equipped with a Ni-63 electron capture detector. The column, detector and injection ports were operated at temperatures of 220, 300, and 250°C, respectively. The carrier gas was a mixture of argon and methane (95:5 v:v) used at a flow rate of 30 mL/min. The G.C. column was 1.22 m long with a 2 mm I.D. packed with 6% QF-1 plus 3% DC-200 on Chromosorb W HP 80/100 mesh.

With this configuration permethrin retention time was about 10 min. The two permethrin isomers *(cis* and *trans)* present in the Ambush 500 EC had slightly different retention times and were quantified separately. Permethrin was quantified by measuring the peak heights of detector response, which were then interpreted by comparison with analytical standards injected before and after the sample. The detection limit for permethrin in this study was about 80 ng.

Mortality measurements

The experiment to measure mortality-concentration relationship for mosquito larvae was carried out as follows. Ambush 500 EC was mixed with water in similar proportions to those used in the spray trials (0.1% a.i. w/w), and several glass jars containing ½ L of river water were dosed in duplicate with various quantities of this mixture to provide overall permethrin concentrations of 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.4, 3.2, 4.8, 6.4, 12.8, and 25.6 ppb (w/w). The water samples were then stirred to distribute the a.i. evenly. Twenty 3rd- and 4th-instar *Aedes aegypti* mosquito larvae were placed in each jar, which were then placed in a controlled environment chamber at 20°C. Mortality at 72 hours was taken as final mortality. A control experiment was also carried out to measure natural mortality. 100% mortality was observed with concentrations of 6.4 ppb and above.

The mortality-concentration relationship for water shrimps was measured in a similar experiment to that used for mosquito larvae, except that final mortality was taken at 48 hours.

Bioassays with mosquito larvae were carried out during the spray trials, using the following method. Small artificial river water pools were exposed to the spray cloud at various downwind distances from the swath. The pools comprised aluminium trays of surface area 0.15 m^2, filled to a depth of about 7 cm with 10 L of water, and partly buried so that the water surface was nearly

at ground level. After the spray application these pools were stirred, ½ L water samples were taken and placed in jars together with 20 3rd-4th instar mosquito larvae. These jars were placed in controlled environment chamber at 20°C. Mortality was measured at 72 hours. Results from these bioassays were used to evaluate model results.

RESULTS AND DISCUSSION

Meteorological measurements

One trial was carried out for each of the ground-based and aerial applications. In both trials meteorological measurements were made throughout the spray application and cloud dispersal. Measurements commenced at the start of the first spray line and continued until after the final cloud was advected over the station furthest downwind. Meteorological data covered a period of about 10 min duration for the ground-based application and 15 min for the aerial application. Average values and standard deviations of important parameters over the period of spray application and cloud dispersal are presented in Table 3.

The thermal stratification of the boundary layers into which spray lines were released in both ground-based and aerial applications was stable, and turbulence was therefore damped by buoyancy forces. The Richardson number compares rates of energy supply to maintain turbulence, with its removal rate by damping forces. The values obtained confirm that damped forced convection was present in the boundary layer. These are typical evening conditions with light cloud cover, when radiative ground cooling leads to a reduction in the air temperature immediately above it, but the air further aloft is still warm, resulting in a positive temperature gradient.

Spray deposit measurements

Figure 2(a) shows measurements of permethrin deposit on horizontal glass plates at various downwind distances from a ground application of one swath, with an a.i. application rate of 35 g/ha and a 10 m swath width. Deposit is expressed in micrograms of a.i. per square metre of horizontal surface. Figure 2(b) shows measurements of permethrin deposit on horizontal glass plates at various distances from an aerial application of one swath, with an a.i. application rate of 35 g/ha and 25 m swath width. The experimental data from both types of application were corrected to 35 g/ha a.i. application rate by dividing by the number of swaths laid.

To estimate the mathematical relationship between spray deposit on a simulated water surface and downwind distance, curvilinear regression lines were fitted to the data, using a computerised statistics package for non-linear regression analysis. From previous investigations into spray cloud dispersal summarized by Pasquill (1974), the deposit-distance relationship, beyond the distance of maximum deposit, is estimated to be of the form:

$$J = A.x^{B} \qquad \text{Equation 1}$$

where J is spray deposit ($\mu g/m^2$), x is downwind distance, and A and B are constants. Values of A and B, together with coefficients of determination (R^2) for the regression lines are given in Table 4. The values of exponent (B) are typical for ULV spray cloud dispersal, e.g. Payne (1983).

These regression lines are in a form required to model deposit from multiple swaths, with an a.i. application rate of 35 g/ha, and the swath widths given. However, with appropriate mathematical adjustment they could be used to model deposit and estimate buffers needed with other permethrin application rates and swath widths.

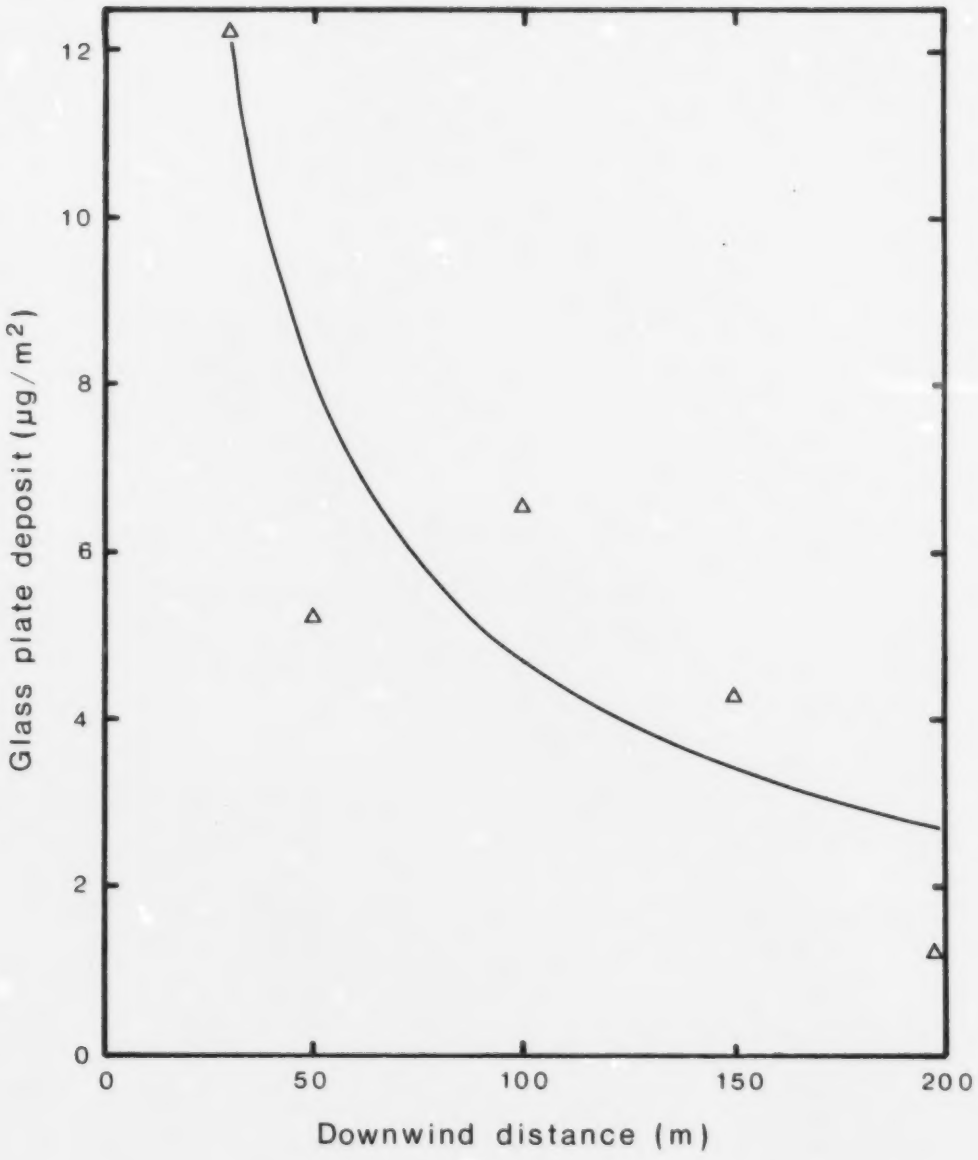
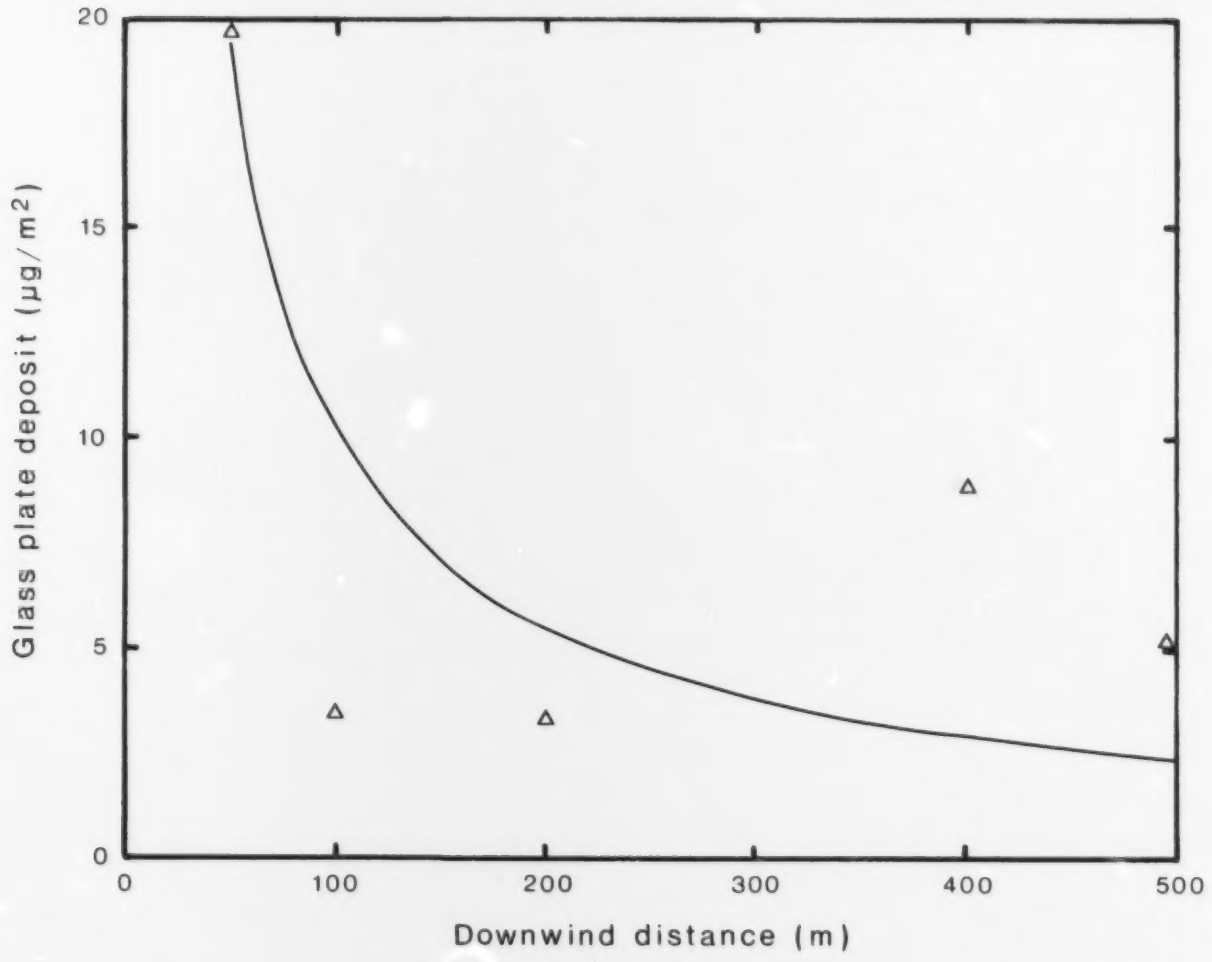


Figure 2. (a) Measured permethrin deposits on glass plates at various downwind distances from a single swath ground-based application at 35g a.i./ha, with regression line.



(b) Measured permethrin deposits on glass plates at various downwind distances from a single swath aerial application at 35g a.i./ha with regression line.

Table 3. Meteorological measurements during ground-based and aerial trials (avg/SD)

Parameter	Trial	
	Ground-based	Aerial
Date of trial	18/7/84	9/8/84
Time spraying commenced	21:22	20:38
Sunset (daylight saving)	21:27	20:59
Cloud cover (eighths)	1-2	3-4
Stability of lowest 10 m of atmosphere	Stable	Stable
Beaufort force	3 (gentle breeze)	2 (light breeze)
Windspeed at 10 m (m/s)	3.8/0.9	2.8/0.7
Windspeed at 2 m (m/s)	1.6/0.9	1.6/0.6
Air temperature at 10 m (°C)	15.8/0.1	20.1/0.1
Air temperature at 2 m (°C)	14.8/0.1	18.9/0.1
Relative humidity (%)	64	62
Intensity of turbulence (w) at 10 m	0.15	0.13
Richardson number (2-10 m)	0.05	0.2

Mortality measurements

Probit analysis of mortality-concentration data gave the following relationships for mosquito larvae and water shrimps respectively

$$y = 4.796 + 2.21\ x, \qquad \text{Equation 2}$$

and $$y = 8.277 + 7.525\ x, \qquad \text{Equation 3}$$

where y is probit mortality, and x is the log of permethrin concentration measured in ppb's. LC_{50} and LC_{95} values for mosquito larvae were 1.3 and 6.9 ppb, and for water shrimps were 0.37 and 0.61 ppb's respectively. From these measurements it is evident that mortality in water shrimp populations increased more quickly with permethrin concentration than in mosquito larvae populations. Further discussion on mortality-

Table 4. Details of curvilinear regression lines fitted to spray deposit measurements at various downwind distances.

Application type	A	B	R^2
Ground-based	140	-0.78	0.7881
Aerial	660	-0.90	0.5175

concentration data will be provided in subsequent publications.

Modelling spray deposit from multiple swaths

Incremental spray deposit at various downwind distances from multiple swath permethrin applications was calculated by adding deposits from single swaths, under worst case conditions. Spray deposit from multiple swath ground-based and aerial applications were modelled separately. Treatment areas of 9 and 900 ha, and swath widths of 10 and 25 m respectively, were chosen for ground-based and aerial applications. Although larger treatment areas may be used it was thought unreasonable to make buffer recommendations with these extreme cases. The model assumed square treatment areas of 300 m x 300 m and 3 km x 3 km, and a total of 30 and 120 swaths were used for modelling ground-based and aerial applications respectively.

A computer programme was written to calculate and add spray deposit resulting from each crosswind swath laid during a multiple swath application. The programme used deposit-distance relationships based on the curvilinear regression line from experimental measurements from ground-based and aerial applications (Equation 1 and Table 4), and a worst case a.i. application rate of 35 g/ha. Figures 3(a) and 3(b) show calculated spray deposit from multiple swath permethrin applications versus distance from the downwind edge of the treatment area for ground-based and aerial applications respectively.

Estimating level and importance of biological effect of water surface deposit

To estimate the biological effect of spray deposit (g/m^2) from a multiple swath permethrin application mortality-concentration data for the two sensitive indicator species and rainbow trout, *Salmo gairdneri* were used. Measurements of permethrin toxicity to rainbow trout were taken from the investigation reported by Mulla et al. (1978a), who found LC_{50} and LC_{90} values of 8 and 17 ppbs respectively. Tables 5 and 6 show predicted mortality in populations of mosquito larvae and water shrimp, in water bodies with depths of 1/10, 1/4, 1/2 and 1 m, at various downwind distances from the chosen worst case multiple swath permethrin applications at 35 g of a.i./ha. These mortalities were calculated by converting spray deposit to concentration, then assuming even distribution through the water depth, this concentration was interpreted using the measured mortality-concentration relationships (equations 2 and 3).

Table 7 shows predicted mortality in rainbow trout populations in water bodies with depths 1/10 and 1/4 m, at various downwind distances from the chosen worst case multiple swath permethrin application at 35 g of a.i./ha. In water depths of $\frac{1}{2}$ and 1 m predicted rainbow trout mortality was less than 0.01% at all tabulated distances.

Sosiak (1983) has demonstrated that forestry permethrin applications are unlikely to cause direct fish mortality. This conclusion is further supported by the

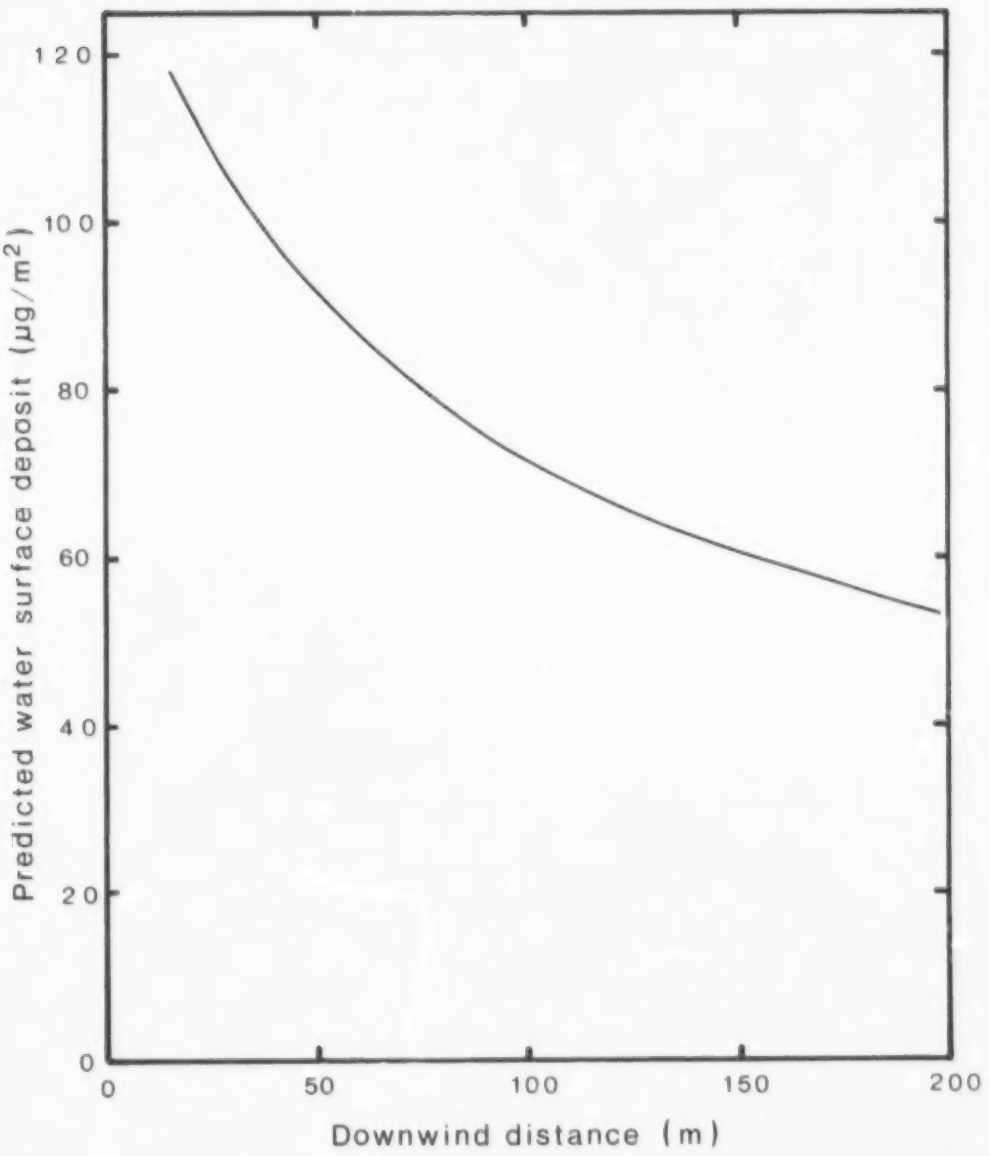
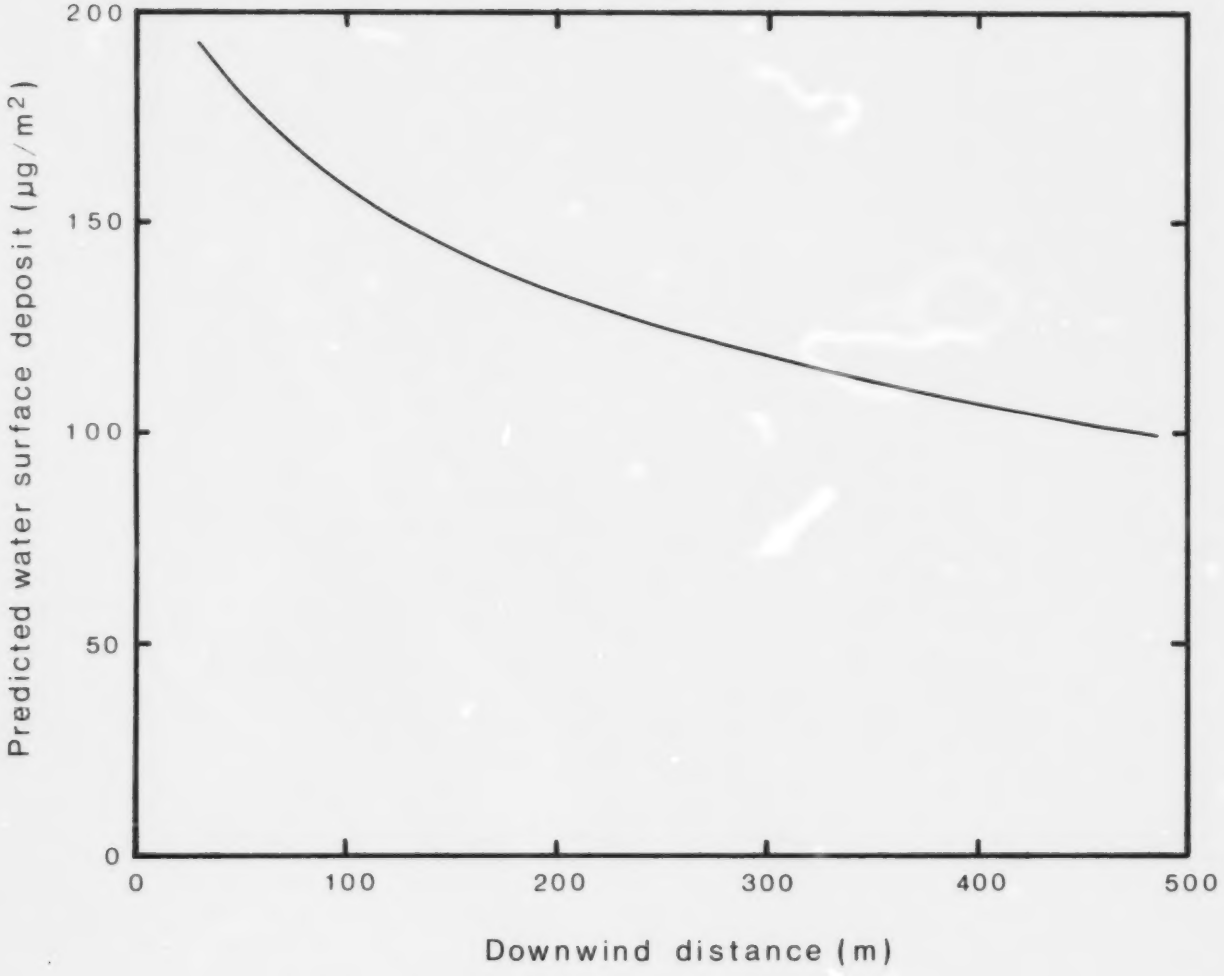


Figure 3. (a) Model prediction of water surface permethrin deposit downwind of treatment area, resulting from a 9 ha multiple swath ground-based application at 35g a.i./ha.



(b) Model prediction of water surface permethrin deposit downwind of treatment area, resulting from a 900 ha multiple swath aerial application at 35g a.i./ha.

results presented in Table 7 which show that with a.i. application rates of 35 g/ha, rainbow trout mortality is very low. However, food supply interruptions could result in fish mortality. It is therefore necessary to limit food species mortality to levels which do not have a significant effect on food supply. Table 8 shows buffers required to limit indicator species mortality to 20, 30, 40, and 50% in various water depths.

Table 5. Predicted mosquito larvae mortality (%) and permethrin concentrations in various water depths and at various distances from multiple swath applications at 35 g of a.i./ha

Downwind distance (m)	Mortality (%)/concentration (ppb)							
	Ground-based				Aerial			
	1/10 m	¼ m	½ m	1 m	1/10 m	¼ m	½ m	1 m
25	45/1.1	16/0.44	5/0.22	1/0.11	68/2.0	33/0.78	13/0.39	4/0.2
50	39/0.93	12/0.37	4/0.19	<1/0.09	64/1.8	30/0.72	12/0.36	3/0.18
100	30/0.72	7/0.27	2/0.14	<1/0.07	60/1.6	28/0.64	11/0.32	2.5/0.16
200	21/0.53	5/0.21	1/0.11	<1/0.05	52/1.3	20/0.52	7/0.26	1.6/0.13

Table 6. Predicted water shrimp mortality (%) and permethrin concentrations in various water depths, at various distances from multiple swath applications at 35 g of a.i./ha

Downwind distance (m)	Mortality (%)/concentration (ppb)							
	Ground-based				Aerial			
	1/10 m	¼ m	½ m	1 m	1/10 m	¼ m	½ m	1 m
25	>99.9/1.1	72/0.44	4/0.22	<0.01/0.11	>99.9/2.0	99.4/0.78	58/0.39	2.1/0.2
50	99.9/0.93	50/0.37	1.4/0.19	" /0.09	" /1.8	98.7/0.72	46/0.36	0.9/0.18
100	98.7/0.72	15/0.27	0.06/0.14	" /0.07	" /1.6	97/0.64	28/0.32	0.3/0.16
200	89/0.53	3/0.21	<0.01/0.11	" /0.05	" /1.3	88/0.52	12/0.26	0.03/0.13

Table 7. Predicted rainbow trout mortality (%) and permethrin concentrations in various water depths and at various distances from multiple swath applications at 35 g of a.i./ha

Downwind distance (m)	Mortality (%)/concentration (ppb)			
	Ground-based		Aerial	
	1/10 m	1/4 m	1/10 m	1/4 m
25	0.04/1.1	<0.01/0.44	1/2	<0.01/0.78
50	0.015/0.93	<0.01/0.37	0.6/1.8	" /0.72
100	<0.01/0.72	" /0.27	0.37/1.6	" /0.64
200	<0.01/0.53	" /0.21	0.12/1.3	" /0.52

Table 8. Buffers required to limit indicator species mortality to various levels, in various water depths

Mosquito larvae

Mortality (%)	Ground-based				Aerial			
	1/10 m	¼ m	½ m	1 m	1/10 m	¼ m	½ m	1 m
20	215	11	<10	<10	>1,000	230	<10	<10
30	105	<10	<10	<10	>1,000	54	<10	<10
40	45	<10	<10	<10	550	<10	<10	<10
50	<10	<10	<10	<10	250	<10	<10	<10

Water shrimp

Mortality (%)	Ground-based				Aerial			
	1/10 m	¼ m	½ m	1 m	1/10 m	¼ m	½ m	1 m
20	560	107	<10	<10	>1,000	>1,000	153	<10
30	500	84	<10	<10	>1,000	900	110	<10
40	440	63	<10	<10	>1,000	740	70	<10
50	380	49	<10	<10	>1,000	590	41	<10

Model test using bioassay data

Bioassay data collected during both ground-based and aerial applications were used to test the accuracy of the model. Predicted and observed mortality were compared in populations of *Aedes aegypti* mosquito larvae placed in water taken from artificial pools at various downwind distances. Results are shown in Table 9.

The predicted mosquito larvae mortality is usually higher than the observed mortality, i.e., the model provided worst case values for mosquito larvae mortality.

Crosswind and upwind buffers

The experiments and modelling so far reported have been related to setting downwind buffers, which as discussed are larger than crosswind or upwind buffers. These latter two buffer types were estimated from spray cloud dispersal measurements published from earlier investigations, and from general considerations of spray cloud behaviour.

To obtain data for use in setting crosswind buffers a spray cloud dispersal model was employed. This model was somewhat more complex than that for downwind buffers because both downwind and crosswind variations in deposit had to be taken into account. Spray deposit from an individual spray line, outside the treatment area in a crosswind direction, decreases in a Gaussian manner with crosswind distance from the edge of the treatment area (Pasquill 1974). The width of this near Gaussian deposit increases with downwind distance travelled by the cloud. The crosswind spread in a stable boundary layer, i.e. standard deviation of Gaussian crosswind distribution, is proportional to x^p, where p is about 0.6. In addition, the peak value of this distribution i.e., spray deposit at the edge of the treatment area, decreases with downwind distance, as measured in this study. Deposit outside the treatment area in a crosswind direction was calculated by adding contributions from each spray line, taking into account both these factors. Crosswind spray deposits at the downwind edge of the treatment area were calculated, being worst case values. Predicted deposit at chosen crosswind distances were then converted to concentrations in water bodies of various depths and used to estimate indicator species mortality from the mortality-concentration relationship.

Crosswind buffers for ground-based and aerial applications were again considered separately. Meteorological conditions, size of treatment area and a.i. application rates were as used to estimate downwind buffers. Tables 10 and 11 show predicted mortality from permethrin applications at 35 g a.i./ha in indicator species populations in water bodies of various depths, at various crosswind distances from the downwind edge of the treatment area.

In considering upwind buffers around water, the accuracy of the release position of the spray cloud and subsequent droplet transport by the atmosphere are of key importance. In making a ground-based application the spray cloud release position may be accurately controlled because of the low atomiser-carrier speeds used, typically ½-2 m/s or 2-8 km/h. In addition when a mist-blower is used the initial downwind motion of the spray cloud embedded in the air jet is at speeds of typically 30-50 m/s (100-180 km/h) (Matthews 1979), which will prevent upwind transport. A 5 m upwind buffer is probably adequate for a ground-based application.

In an aerial application the release position of the spray cloud is less accurate than for a ground-based application, due to

Table 9. Comparison of predicted and observed mortality in populations of *Aedes aegypti* exposed in artificial pools (depth about 7 cm) during ground-based and aerial applications

Downwind distance (m)	Mortality (%)			
	Ground-based (35 g of a.i./ha)		Aerial (140 g of a.i./ha)	
	Predicted	Observed	Predicted	Observed
30	3	2.1	-	-
50	1.2	0.9	39	20
100	<1	1.2	19	2.2
200	<1	0.1	7	0.5
400	-	-	2	0.5

the higher speeds used. Furthermore, the aircraft generates wing tip vortices which completely dominate droplet transport during the initial stage of the cloud lifetime, a period of several seconds. Airspeeds inside these vortices may be sufficient to cause upwind transport of spray, over distances similar to the aircraft wing span (Boatwright, 1968). Spray deposit resulting from upwind droplet transport by aircraft vortices is dependent on various factors including the state of the atmospheric boundary layer, e.g., the average downwind windspeed and intensity of turbulence and the flying height of the aircraft. At present there is insufficient experimental evidence with which to make a good estimate of the upwind buffer required for aerial applications.

CONCLUSIONS

This study was conducted to design a scientific basis and gather data for use in setting buffers around forestry permethrin applications. The data presented in Tables 5 to 11 can be used to set downwind and crosswind buffers around water on a rational basis.

To judge the importance of arthropod population reductions, they should be considered both in terms of their primary effect, and that on the piscine food supply. Both magnitude and duration of the population reductions are important. 10-20% mortality in arthropods is thought to be a tolerable level. In addition, Kingsbury and Kreutzweiser (1983) have shown that arthropod population recovery from permethrin kill is rapid.

If a 10% mortality in mosquito larvae is considered acceptable, then downwind buffers of 10 and 100 m, respectively are appropriate for ground-based and aerial applications at 35 g a.i./ha or less. These buffers will limit permethrin concentration to about 0.32 ppb and mortality to about 10% in a water depth of ½ m, which includes most important fish-bearing still waters. Alternatively if a 20% mortality in mosquito larvae is tolerable, then a downwind buffer

Table 10. Predicted mortality from permethrin applications at 35 g a.i./ha in mosquito larvae populations in water bodies of various depths at several crosswind distances from the treatment area (at downwind edge).

Crosswind distance (m)	Mortality (%)			
	Ground-based			
	1/10 m	1/4 m	½ m	1 m
5	45	16	5	1
10	34	10	2.5	<1
20	19	4	<1	<1
	Aerial			
10	64	30	12	3.5
20	57	25	9	2.5
30	54	21	7.5	1.9
40	49	18	6	1.4

Table 11. Predicted mortality from permethrin applications at 35 g a.i./ha in water shrimp populations in water bodies of various depths, at several crosswind distances from the treatment area (at downwind edge).

Crosswind distance (m)	Mortality (%)			
	Ground-based			
	1/10 m	1/4 m	½ m	1 m
5	>99.9	72	5	<0.1
10	99.5	32	0.3	<0.1
20	85	2	<0.1	<0.1
	Aerial			
10	>99.9	98.7	46	1
20	"	95	25	0.15
30	"	90	15	<0.1
40	"	81	8	<0.1

of 10 m is appropriate for both ground-based and aerial applications, at 35 g of a.i./ha, or less. These buffers will limit permethrin concentration to about 0.51 ppb, and mortality to about 20% in a ½ m water depth.

Buffers of 15 and 230 m for ground-based and aerial applications respectively will limit water shrimp mortality to about 10% and permethrin concentration to about 0.25 ppb in a similar water depth, whereas buffers of 10 and 150 m are needed to limit water shrimp mortality to about 20%, and permethrin concentration around 0.29 ppb. To limit mosquito larvae mortality less than 10% in a ½ m water depth crosswind buffers of 5 and 20 m respectively are appropriate for ground-based and aerial applications, or for 20% mortality crosswind buffers of 5 and 10 m. For water shrimp mortality less than 10% in a ½ m water depth, crosswind buffers of 5 and 40 m, respectively are appropriate for ground-based and aerial applications, or for 20% mortality crosswind buffers of 5 and 25 m. It should be noted that all suggested buffers refer to the edge of the treatment area, not to the furthest downwind swath, which is one swath width distant from the downwind edge of the treatment area.

The rationale and data which this study has produced can be used to set downwind buffers for permethrin applications using other a.i. application rates, swath widths, and sizes of treatment area. However because of the differences in physical characteristics of sprays, these data are not suitable for estimating buffers for pesticide applications using active ingredients other than permethrin.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank OMNR for assistance in selecting the trial site, and permitting its use; and Andrij Obarymskyj, Jim Beveridge, John McFarlane and Dave Comba for their help during the field trials.

LITERATURE CITED

Abram, F.S.H.; Evins, C.; Hobson, J.A. 1980. Permethrin for the control animals in water mains. Water Research Centre Technical Report 145, Stevenage, England.

Anderson, R.L. 1982. Toxicity of fenvalerate and permethrin to several nontarget aquatic invertebrates. Environ. Ent. 11:1251-1257.

Boatwright, D. 1968. A study of the influence of wing-tip vortices on the trajectories of particles released from aircraft. Aerophysics and Aerospace Engineering Research Report No. 91, Department of Aerophysics and Aerospace Engineering, Misissippi State University.

Chamberlain, A.C. 1975. The Movement of Particles in Plant Communities. Pages 155-203, *in* J.L. Monteith, ed. Vegetation and the Atmosphere. Volume 1 Principles Academic Press, London, England.

Clayphon, J.E. 1974. The evaluation of a motorized knapsack mistblower for conventional and ULV rates of pesticide application. PANS 20:351-357.

Crabbe, R.; Elias, L.; Krzymien, M.; Davie, S. 1980. New Brunswick forestry spray operations: field study of the effect of atmospheric stability on long-range pesticide drift. LTR-UA-52, NAE, NRC, Canada.

Crabbe, R.S.; Elias, L.; Davie, S.J. 1983. Field study of the effect of atmospheric stability on target deposition and effective swath width for aerial forest sprays in New Brunswick, Part II. LTR-UA-65, NAE, NRC, Canada.

Crabbe, R.S.; McCooeye, M.; Elias, L. 1984. Effect of atmospheric stability on wind drift in aerial forest spray trials. Neutral to stable conditions. LTR-UA-73, NAE, NRC, Canada.

Crabbe, R.S.; McCooeye, M. 1985. Effect of atmospheric stability and windspeed on wind drift in aerial forest spray trials, neutral to unstable conditions. LTR-UA-82, NAE, NRC, Canada.

Elliot, M.; Janes, N.F.; Potter, C. 1978. The future of pyrethroids in insect control. Pages 443-69, *in* Volume 23, Annual Review of Entomology, Annual Reviews Inc., Palo Alto, California.

Friesen, M.K. 1981. Effects of insecticide permethrin on the aquatic life stages of the burrowing mayfly *Hexagenia rigida* (Ephemeroptera:Ephemeridae). M.Sc. Thesis, U. of Manitoba.

Fuchs, N.A. 1964. The Mechanics of Aerosols. Pergamon Press, Oxford, England.

Green, H.L.; Lane, W.R. 1964. Particulate clouds, dusts, smokes and mists. 2nd ed. E. & F.N. Spon Ltd., London, England.

Jackson, P.S. 1981. On the displacement height in the logarithmic velocity profile. J. Fluid Mech. iii:15-25.

Jolly, A.L.; Avault, J.W.; Koonce, K.L.; Graves, J.B. 1978. Acute toxicity of permethrin to several aquatic animals. Trans. Am. Fish. Soc. 107:825-827.

Joyce, R.J.; Schaefer, G.W.; Allsopp, K. 1981. Distribution of spray and assessment of larval mortality at Annabaglish. Pages 15-46 *in:* A.V. Holden and D. Bevan, *eds.*, Aerial Application of Insecticide against Pine Beauty Moth, Forestry Commission, UK.

Kingsbury, P; Kreutzweiser, D. 1983. Recovery studies. Pages 103-112. *In* Permethrin in New Brunswick Salmon Nursery Streams. Information report FPM-X-52, Forest Pest Management Institute, Canadian Forestry Service, Sault Ste. Marie, Ontario.

Matthews, G.A. 1979. Pesticide Application Methods. Longman, London, England.

May, K.R.; Clifford, R. 1967. The impaction of aerosol particles on cylinders, spheres, ribbons and discs. Ann. Occupational Hyg., 10:83-95.

Muirhead-Thompson, R.C. 1978. Lethal and behavioural impact of permethrin (NRDC 143) on selected stream macroinvertebrates. Mosquito News 38:185-190.

Mulla, M.S.; Navvab-Gojrati, H.A.; Darwazeb, H.A. 1978a. Toxicity of mosquito larvicidal pyrethroids to four species of freshwater fishes. Environ. Ent. 7:428-430.

Mulla, M.S.; Navrab-Gojrati, H.A.; Darwazeb, H.A. 1978b. Biological activity and longevity of new synthetic pyrethroids against mosquitos and some non-target insects. Mosquito News. 38:90-96

NRCC. Pyrethroids; their effects on aquatic and terrestrial ecosystems. Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality, National Research Council of Canada, NRCC No 24376, Ottawa, Ont., Canada. 295 pp. (in press)

Panofsky, H.A.; Dutton, J.A. 1984. Atmospheric Turbulence. Models and Methods for Engineering Applications. John Wiley & Sons, N.Y.

Pasquill, F. 1974. Atmospheric diffusion: the dispersion of windborne material from industrial and other sources. 2nd ed. Ellis Horwood Ltd., Chichester, England.

Payne, N. 1983. A quantification of turbulent dispersal and deposition of coarse aerosol droplets over a wheat field. Ph.D. Thesis, Cranfield Institute of Technology, Bedfordshire, England.

Riddick, J.A.; Bunger, W.B. 1970. Techniques of chemistry, volume 2: organic solvents; physical properties and methods of purification. 3rd ed. Wiley-Interscience, New York, U.S.A.

Rogers, R.R. 1979. A short course in cloud physics. 2nd ed. Pergamon Press Ltd., Oxford, England.

Sharom, M.S.; Solomon, K.R. 1981. Adsorption-desorption, degradation, and distribution of permethrin in aqueous systems. J. Agric. Food Chem. 29: 112225.

Sosiak, A. 1983. Caged fish and crayfish studies. Pages 71-80, *in* P.D. Kingsbury, ed. Permethrin in New Brunswick Salmon Nursery Streams. Information Report FPM-X-52, Forest Pest Management Institute, Canadian Forestry Service, Sault Ste. Marie, Ontario.

Stratton, G.W.; Corke, C.T. 1981. Interaction of Permethrin with *Daphnia magna* in the presence and absence of particulate material. Environmental Pollution. (Series H) 24:135-144.

Sutton, O.G. 1953. Micrometeorology: a study of the physical processes of the lower layers of the Earth's atmosphere. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, NY.

Thom, A.S. 1975. Momentum, Mass and Heat Exchange of Plant Communities. Pages 57-109, *in* J.L. Monteith, ed. Vegetation and the Atmosphere Volume 1 Principles. Academic Press, London, England.

Délimitation des zones-tampons autour des plans d'eau lors des épandages de perméthrine

N. Payne, B. Helson, K. Sundaram,
P. Kingsbury, R. Flemming et P. de Groot

Rapport d'information FPM-X-70F
Institut pour la répression des ravageurs forestiers

Délimitation des zones-tampons autour des plans d'eau lors des épandages de perméthrine

N. Payne, B. Helson, K. Sundaram,
P. Kingsbury, R. Flemming et P. de Groot

Rapport d'information FPM-X-70F
Institut pour la répression des ravageurs forestiers
Forêts Canada
Sault Ste. Marie (Ontario)
1989

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1989
Numéro de catalogue Fo46-16/70F
ISBN 0-662-95474-2

Il est possible d'obtenir sans frais des exemplaires de cette publication auprès des:

Services d'information
Institut pour la répression des ravageurs forestiers
Forêts Canada
C.P. 490
Sault Ste. Marie (Ontario)
P6A 5M7

Des copies ou microfiches de cette publication sont en vente chez:

Micromédia Ltée
Place du Portage
165, rue Hôtel-de-Ville
Hull (Québec)
J8X 3X2

This publication is also available in English under the title *Estimating the buffer required around water during permethrin applications*.

Résumé

La présente étude a été entreprise en vue d'élaborer une démarche scientifique et de réunir des données pour délimiter les zones-tampons à respecter lors des épandages de perméthrine sur les forêts. Les épandages au sol et aériens ont été étudiés séparément en raison des différences importantes entre les deux, par exemple la hauteur de libération du nuage de gouttelettes, qui donne lieu à une dispersion différente de l'insecticide. Vu la multiplicité des zones-tampons requises pour différentes conditions météorologiques, divers spectres de taille des gouttellettes, etc., on a décidé de faire appel à un scénario raisonnable de pire éventualité et de recueillir les données pour ce scénario. Pour que les zones-tampons ne soient pas excessivement larges, on a examiné, séparément la dispersion du nuage de gouttelettes en amont, en aval et latéralement par rapport au vent. L'étude comprenait une expérience consistant à mesurer le dépôt sur l'eau à différentes distances sous le vent de la rampe de pulvérisation et une deuxième expérience visant à mesurer la relation concentration-mortalité chez deux espèces indicatrices sensibles: les larves de la stégomyie (*Aedes aegypti*) et le gammare *Gammarus pseudolimnaeus*. Un modèle mathématique construit à partir des mesures de la dispersion des nuages de gouttelettes a été employé pour calculer le dépôt à la surface de l'eau à la suite d'épandages comportant des passages multiples. La mortalité chez les populations de deux espèces indicatrices et de la truite arc-en-ciel a été estimée à partir des résultats du modèle et des rapports établis concentration-mortalité. Aux fins de vérification du modèle, la mortalité prévue a été comparée aux résultats de bioessais effectués durant les expériences d'arrosage. Des bandes-tampons de 12 et de 230 m en aval du vent respectivement pour les épandages au sol et aériens de perméthrine sur les forêts à des doses inférieures à 35 g/ha d'ingrédient actif limiteraient la mortalité des gammares à environ 10 % dans des profondeurs d'eau de 0,50 m. Des bandes-tampons de 5 et de 40 m respectivement dans le sens latéral par rapport au vent offriraient une protection similaire.

Abstract

This study was conducted to design a scientific approach and gather data for use in setting buffers required during forestry permethrin applications. Ground-based and aerial applications were studied separately because of important differences between the two, for example cloud release height, which result in different downwind spray deposits. To overcome the problem of the multiplicity of buffers required with different meteorological conditions, droplet size spectra, etc., a reasonable worst case scenario was chosen, and data collected for this case. In order not to make buffers unnecessarily large, upwind, crosswind and downwind spray cloud dispersal were considered separately. The study comprised an experiment to measure spray deposit on water surfaces at different concentration relationship for two sensitive indicator species, *Aedes aegypti* mosquito larvae, and *Gammarus pseudolimnaeus* water shrimps. A mathematical model based on spray cloud dispersal measurements was used to calculate spray deposit on a water surface from multiple swath applications. Mortality in populations of the two indicator species and rainbow trout was estimated using model results, and measured mortality-concentration relationships. As a check on the model, predicted mortality was compared with mortality measurements made in bioassays carried out during the spray trials. Downwind buffers of 15 and 230 m respectively for ground-based and aerial forestry permethrin applications, with a.i. application rates of 35 g/ha or less, would limit water shrimp mortality to about 10% in 0.5 m water depths. Crosswind buffers of 5 and 40 m respectively would provide similar protection.

Table des matières

	Page
Résumé	iii
Abstract	iii
Introduction	1
Analyse du problème	1
Analyse du pire cas	3
Variables météorologiques	3
Variables du couvert végétal	4
Variables de l'épandage de la pulvérisation	4
Épandages au sol	5
Épandages aériens	5
Variales relatives à l'effet biologique	5
Variables de la modélisation mathématique	7
Équipement et méthodes	7
Expériences de dispersion du nuage de pulvérisation	7
Site et couvert	7
Mesures météorologiques	8
Paramètres de l'épandage de pulvérisation	8
Mesures de la dispersion du nuage de pulvérisation	9
Analyse des résidus	11
Mesures de la mortalité	11
Résultats et analyse	12
Mesures météorologiques	12
Mesures du dépôt de pulvérisation	12
Mesures de la mortalité	13
Modélisation du dépôt de pulvérisation sur bandes multiples	16
Évaluation de la teneur et de l'importance des effets biologiques du dépôt à la surface de l'eau	16
Essai du modèle à l'aide des données de bioessai	17
Zones-tampons perpendiculaires au vent et face au vent	20
Conclusion	22
Bibliographie	24
Remerciements	26

Introduction

La perméthrine (NRDC 143 3-phénoxybenzyl (±)- *cis, trans*. -2,2-diméthyl-3- (dichlorovinyle) cyclopropanecarboxylate) est un insecticide pyréthroïde synthétique très toxique pour une grande variété d'insectes, et peu toxique pour les mammifères et les oiseaux. Il peut être très utile dans la lutte contre les insectes ravageurs forestiers (Elliot et collab., 1978). Cependant, étant donné sa grande toxicité vis-à-vis des arthropodes aquatiques et des poissons (Anderson, 1982; Jolly et collab., 1978), il faut faire bien attention pour éviter que l'insecticide pulvérisé ne cause des dommages importants au milieu aquatique. Sosiak (1983) a démontré que les épandages de perméthrine en foresterie ne devraient pas causer de mortalité directe chez le poisson. Cependant, la même étude a indiqué de graves perturbations chez les communautés d'invertébrés aquatiques, ce qui pourrait influer sur les populations de poissons par suite de la perturbation de la chaîne alimentaire.

Les zones-tampons permettent de contrôler l'impact du pesticide sur le milieu aquatique en établissant une distance minimale entre la zone traitée et le plan d'eau. Ces zones-tampons ne doivent cependant pas être plus larges que nécessaire, afin de ne pas entraver la gestion efficace des forêts. Cette étude a été entreprise à la demande de la Division des pesticides d'Agriculture Canada afin d'élaborer une approche scientifique et de recueillir des données qui pourraient être utilisées pour établir les zones-tampons nécessaires autour des plans d'eau lors des épandages de perméthrine en foresterie. Ce rapport a été rédigé dans le but de donner un bref compte rendu de cette étude qui englobe plusieurs disciplines. Pour des raisons de concision et pour faciliter la compréhension, la plupart des sujets ont été traités brièvement. Cette façon de procéder a été choisie pour faciliter la lecture du rapport. Des publications ultérieures donneront des descriptions plus complètes de certaines parties de la présente étude.

Analyse du problème

L'approche scientifique adoptée pour l'évaluation de la zone-tampon a été basée sur le scénario du pire cas possible, étant donné que dans la réalité la zone-tampon nécessaire varie selon de nombreux facteurs, par exemple l'état de la couche-limite atmosphérique (Rasquill, 1974), la structure du couvert végétal (Thom, 1975), la granulométrie des gouttelettes formant le nuage de pulvérisation et sa hauteur d'épandage (Pasquill, 1974), le volume et les doses d'épandage de l'ingrédient actif ainsi que le nombre et l'espacement des bandes d'épandage. Les caractéristiques physiques et biologiques de la nappe d'eau tamponnée, par exemple eaux stagnantes ou eaux courantes, profondeur de l'eau, influent également sur cette bande-tampon.

Étant donné le grand nombre de combinaisons possibles de ces variables et des zones-tampons qui en résultent, et l'impossibilité de définir et de réglementer les nombreuses zones-tampons différentes, la meilleure façon de résoudre ces problèmes de façon expérimentale et réglementaire est d'adopter le scénario du pire cas possible. On a donc choisi dans cette étude les cas donnant la plus large zone-tampon nécessaire pour protéger un plan d'eau, c'est-à-dire de façon à limiter les dommages à un niveau acceptable. Le pire cas choisi est celui qui peut se produire dans la pratique et qui entraînerait un maximum de dépôt de pulvérisation et d'effets biologiques sur une nappe d'eau à l'extérieur de la zone traitée.

Le problème qui consiste à évaluer la largeur d'une bande-tampon autour d'un plan d'eau a été divisé en trois parties basées sur la réalité physique et biologique de la situation. Premièrement, on a mesuré la quantité (g/m2) de l'ingrédient actif déposé sur un plan d'eau simulé, à diverses distances d'une seule bande d'épandage. Deuxièmement, on a quantifié l'effet de la perméthrine sur le milieu aquatique, c'est-à-dire le taux de mortalité mesuré pour diverses concentrations d'ingrédient actif (g/m3) dans l'eau. Troisièmement, la mortalité résultant de l'utilisation de diverses zones-tampons a

été évaluée à partir d'un modèle basé sur les données relatives au dépôt de pulvérisation et à la mortalité.

Les données expérimentales requises ont été obtenues à partir de deux expériences. Premièrement, une expérience a été faite pour mesurer le dépôt de pulvérisation sur une surface d'eau simulée, à diverses distances d'une seule bande traitée, en considérant les conditions météorologiques et d'épandage correspondant au pire cas. Deuxièmement, le rapport mortalité/concentration a été mesuré en exposant des organismes d'une espèce indicatrice sensible à des concentrations d'ingrédient actif connues et en quantifiant la mortalité causée.

Enfin, on a évalué le taux de mortalité résultant des diverses largeurs de zones-tampons. À l'aide d'un modèle de dispersion du nuage de pulvérisation mis au point dans le cadre de cette étude et d'après ces données expérimentales, on a calculé le dépôt à la surface de l'eau à différentes distances d'une épandage sur bandes multiples. Ce dépôt a ensuite été converti en concentration correspondante dans l'eau en supposant un mélange uniforme à diverses profondeurs d'eau. On a ensuite obtenu le taux de mortalité de l'espèce indicatrice à l'aide du rapport mortalité/concentration. Les prévisions du taux de mortalité obtenu avec diverses largeurs de zones-tampons permettent de choisir la zone-tampon appropriée.

Pour vérifier la précision des résultats du modèle, des organismes ont également été exposés à différentes distances d'une bande de pulvérisation, et le taux de mortalité prévu a été comparé au taux de mortalité observé.

Il sera peut-être utile, pour le lecteur, de connaître certains points préalables sur la dispersion du nuage de pulvérisation. Le processus naturel le plus efficace de dispersion de l'ingrédient actif, causant la pollution de l'eau, est le transport par l'air ou par l'eau. Cependant, étant donné que nous nous préoccupons de la protection des nappes d'eau, nous étudierons seulement le transport atmosphérique de l'ingrédient actif.

Lorsqu'on étudie la dispersion du nuage de pulvérisation d'un épandage de pesticide, la principale variable est la taille des gouttelettes. Si les épandages de pulvérisation sont faites avec de «grosses» gouttelettes, par exemple 1 000 µm de diamètre, la zone-tampon nécessaire est relativement petite étant donné que ces grosses gouttelettes tombent rapidement, environ 4 m/s (Fuchs, 1964), et qu'une fois libérées au-dessus de la zone de traitement, elles ne peuvent être transportées que sur une faible distance du point d'émission avant de se déposer. Cependant, lorsqu'il s'agit d'épandages à volume ultra-faible (ULV), les gouttelettes ont généralement un diamètre de 50 à 100 microns (Matthews, 1979) avec des vitesses de chute inférieures à 0,25 m/s. Dans ce cas, les gouttelettes peuvent être transportées beaucoup plus loin de leur point d'émission avant de se déposer.

L'émission d'un nuage de pulvérisation ULV dans l'atmosphère se compare à l'addition d'un colorant dans un cours d'eau. Comme le colorant, le nuage est transporté par l'air à une vitesse équivalant à une vitesse moyenne de l'air, processus appelé «advection», et comme le colorant, il se répand parallèlement à la direction du vent et en travers de celui-ci dans des directions verticale et horizontale, processus appelé «diffusion atmosphérique», qui est causée par la turbulence de l'air.

Le transport des gouttelettes par advection et diffusion atmosphérique se fait à différents degrés; il faut donc, lorsqu'on évalue la largeur de la zone-tampon, tenir compte de la direction du vent par rapport à la zone traitée et au plan d'eau. Par exemple, la zone-tampon nécessaire sous le vent est beaucoup plus large que celle qui est transversale au vent étant donné que l'advection constitue un mode de transport beaucoup plus rapide que la diffusion atmosphérique. Afin de ne pas aménager de zones-tampons plus larges que nécessaire, on doit en établir la largeur séparément pour les diverses directions face au vent, en direction transversale ou sous le vent. Ce rapport donne des informations pour les trois types d'évaluation.

La dispersion du nuage de pulvérisation dans divers types de couches-limites atmosphériques a été mesurée par plusieurs chercheurs. Pasquill (1974) a donné un bon résumé de ces résultats. Selon les auteurs de la présente étude, ces résultats publiés sont adéquats pour calculer certaines zones-tampons face au vent et en direction transversale. Cependant, pour évaluer une zone-tampon sous le vent dont la largeur est suffisante, sans être trop large, il fallait obtenir des données expérimentales pour les conditions du pire cas dans lequel s'effectueraient des pulvérisations ULV de perméthrine.

Analyse du pire cas

Voici maintenant une analyse du pire cas pour chacune des trois parties de cette étude. Les variables qui influent sur la dispersion du nuage de pulvérisation sont réparties en trois catégories: celles qui ont trait à la météorologie, au couvert végétal et à la pulvérisation.

Variables météorologiques

Les variables météorologiques dont il faut tenir compte lors de l'établissement du scénario du pire cas possible sont la stabilité de la couche-limite atmosphérique, la vitesse du vent, l'humidité relative et la température de l'air.

L'importance de la stabilité atmosphérique réside dans son effet sur le profil de la vitesse horizontale moyenne du vent et sur l'intensité de la turbulence en accentuant ou en atténuant le brassage vertical de l'air. Pour des vents géostrophiques semblables, la vitesse du vent près du sol diminue à mesure qu'augmente la stabilité (Pasquill, 1974). La couche-limite atmosphérique peut être stable, instable ou neutre (Sutton, 1953). La condition stable se produit généralement la nuit et vers l'aube et le crépuscule, tandis que les conditions instables surviennent le jour lorsqu'il y a beaucoup d'ensoleillement. Les conditions neutres se produisent généralement par temps couvert et pendant de courtes périodes au voisinage de l'aube et du crépuscule (Sutton, 1953).

Les conditions stables ont été considérées comme les conditions idéales pour minimiser le transport des gouttelettes et les organismes de réglementation partagent encore ce point de vue. Cependant, des scientifiques sont actuellement d'avis que des conditions neutres ou instables minimisent le transport des gouttelettes (Crabbe et collab., 1983 et 1984; Crabbe et McCooeye, 1985). Ceci est partiellement dû au fait que la vitesse du vent dans le couvert végétal est plus élevée dans des conditions instables et neutres que dans des conditions stables (Sutton, 1953), et favorise donc l'impact inertiel qui constitue le mécanisme le plus important pour le dépôt des petites gouttelettes (Chamberlain, 1975), réduisant ainsi le transport des gouttelettes. L'intensité de la turbulence est également plus grande dans les couches-limites instables et neutres (Pasquill, 1974), répandant ainsi plus rapidement le nuage de pulvérisation à la verticale après son émission, et le dépôt se fait plus près du point d'émission que dans le cas d'une couche stable (Crabbe et collab., 1980), augmentant ainsi la possibilité d'impact des gouttelettes près du point d'émission. Le scénario du pire cas possible qui maximise le transport des gouttelettes est donc l'utilisation d'une couche-limite stable.

La vitesse du vent est une autre variable météorologique importante. La vitesse du dépôt des gouttelettes à la surface de l'eau est proportionnelle à la concentration des gouttelettes dans l'air au-dessus du plan d'eau (Pasquill, 1974). Une augmentation de la vitesse du vent réduit la concentration des gouttelettes près du sol (Crabble et McCooeye, 1985). Cette tendance a également été observée par Joyce et collab. (1981). Elle s'explique en partie parce que l'efficacité de l'impact des gouttelettes augmente proportionnellement à la vitesse du vent (May et Clifford, 1967). Le pire cas pour le dépôt des gouttelettes à la surface de l'eau consiste donc à pulvériser l'herbicide lorsque les vents sont légers mais non pas en l'absence de vent (Force de Beaufort 1-3, inférieur à 14 km/h à 10 m).

L'humidité relative influe également lorsqu'on utilise des pulvérisations à base d'eau (Green et Lane, 1964). L'efficacité de l'impact des gouttelettes augmente proportionnellement à leur diamètre (May et Clifford, 1967); ainsi, plus le taux d'évaporation des gouttelettes augmente, plus celles-ci sont

transportées loin. L'humidité relative étant inversement proportionnelle à la vitesse d'évaporation des gouttelettes (Rogers, 1979), le pire cas est celui d'une pulvérisation effectuée lorsque l'humidité relative est à la limite inférieure de la plage recommandée.

La température de l'air influe également sur la vitesse d'évaporation des gouttelettes de (Green et Lane, 1964) et influe donc indirectement sur l'efficacité d'impact des gouttelettes et sur leur dérive. Le pire cas consiste donc à pulvériser lorsque la température de l'air est à la limite supérieure de la plage recommandée. En résumé, la pire combinaison des paramètres météorologiques pour les épandages de pulvérisation ULV consiste en une couche limite stable, de vents légers, une humidité relative faible et une température de l'air élevée.

Variables du couvert végétal

Les variables relatives au couvert végétal jouent également un rôle important en modifiant la couche humide atmosphérique et en filtrant le nuage de pulvérisation. Les paramètres du couvert végétal les plus importants sont la hauteur, la densité (plants/m^2) et la structure du couvert végétal.

La hauteur du couvert végétal et la densité des plants sont les principales variables pour déterminer la rugosité aérodynamique du couvert (Jackson, 1981), et ainsi la résistance à la circulation de l'air. Plus la rugosité aérodynamique augmente, plus la résistance est forte, et plus la couche-limite atmosphérique est turbulente (Panofsky et Dutton, 1984), ce qui fait que le nuage de pulvérisation est dilué plus rapidement, réduisant la concentration des gouttelettes près du sol. Tout cela réduit le dépôt de l'herbicide pulvérisé. Plus la densité des plantes est élevée, moins la rugosité du couvert végétal est élevée étant donné que les éléments causant la rugosité sont proches l'un de l'autre et que le déplacement de l'air entre eux est limité. Le pire cas est donc un couvert à faible rugosité aérodynamique, c'est-à-dire un petit couvert végétal densément peuplé étant donné que cela entraîne une concentration élevée des gouttelettes près du sol et ainsi un dépôt élevé de l'herbicide pulvérisé.

L'efficacité du couvert végétal pour filtrer un nuage de pulvérisation dépend en grande partie de la grosseur et de la forme des feuilles des arbres qui se divisent en deux catégories: les feuillus et les conifères. Dans la pratique, la perméthrine est surtout pulvérisée sur des conifères, c'est pourquoi la combinaison de ces exigences conduisant au scénario du pire cas possible consisterait en une plantation de conifères, les arbres étant petits et la densité élevée.

Variables de l'épandage de la pulvérisation

La troisième catégorie couvre les variables relatives à l'épandage de pulvérisation, notamment la granulométrie des gouttelettes, la volatilité du mélange d'herbicide, la hauteur de pulvérisation, le volume et la dose de l'ingrédient actif, ainsi que le nombre et l'espacement des bandes traitées. Pour s'assurer que les conditions relatives au scénario du pire cas possible étaient réalisées, ces paramètres ont été limités à ceux considérés dans la pratique.

La granulométrie des gouttelettes est déterminée par l'atomiseur et le réglage de l'appareil, la vitesse de l'air à la sortie de l'atomiseur et les caractéristiques physiques du mélange dans le réservoir. Le pire cas consiste à utiliser les plus petites gouttelettes possibles, c'est-à-dire une pulvérisation du type ULV étant donné qu'elle minimise le dépôt du produit et augmente donc le transport des gouttelettes.

En raison des divers types d'atomiseur utilisés, des différentes hauteurs de pulvérisation etc., les épandages au sol et les épandages aériens ont fait l'objet d'études séparées.

Épandages au sol

Le pire cas qui suit a été considéré pour les épandages au sol. On a donc choisi un pulvérisateur pneumatique pour donner la granulométrie des gouttelettes ULV utilisée dans la pratique. Étant donné que le couvert végétal choisi était petit, un brumisateur pneumatique à dos constituait un choix logique, les pulvérisateurs pour verger étant conçus pour une utilisation dans de hauts peuplements. On a réglé le brumisateur de façon à produire les plus fines gouttelettes possibles, c'est-à-dire un débit d'air maximal, un débit d'herbicide minimal et l'utilisation d'un dispositif ULV (un disque rotatif). Pour reproduire les conditions opérationnelles, on a utilisé un mélange à base d'eau, la vitesse de déplacement correspondait à un pas de marche et le nuage de pulvérisation était dirigé dans la direction du vent, à la hauteur de la taille.

Épandages aériens

Dans le cas des épandages aériens, on a choisi un atomiseur de type rotatif pour produire une pulvérisation ULV. Le pire cas était basé sur l'utilisation du Micronair AU3000 réglé sur rotation rapide de façon à produire de fines gouttelettes. On a utilisé un mélange à base d'eau, une vitesse de l'air et une hauteur d'émission typique d'une épandage ULV faite à partir d'un petit aéronef sur un peuplement de grande valeur pour reproduire des conditions opérationnelles.

Les conditions du scénario du pire cas possible en ce qui a trait à la volatilité du mélange ont été obtenues en utilisant de l'eau, qui a une pression de vapeur élevée comparativement aux liquides utilisés dans les épandages ULV de pesticide (Matthews, 1979; Riddick et Bunger, 1970). Plus la volatilité du mélange est élevée, plus l'évaporation des gouttelettes est rapide, diminuant ainsi la vitesse de dépôt des gouttelettes et augmentant leur dérive.

Le scénario du pire cas possible en ce qui a trait à la dose de perméthrine utilisée dans cette étude concernait le maximum permis par Agriculture Canada pour les épandages au sol, soit 35 g/ha. Les doses d'épandage en volume (L/ha) ont été calculées à partir des exigences en matière de densité foliaire des gouttelettes, de l'indice foliaire d'un couvert de conifères et de la taille représentative des gouttelettes obtenues avec les pulvérisateurs, les réglages et le mélange utilisés pour chaque épandage. Une densité foliaire moyenne prévue d'environ 30/cm^2 (Joyce et collab., 1981), un indice foliaire de 3 (Joyce et collab., 1981), une taille représentative des gouttelettes de 50 µm pour un épandage au sol (Clayphon, 1974) et de 75 µm pour un épandage aérien (Matthews, 1979) ont été utilisés pour cette évaluation qui a donné une dose d'épandage d'environ 1 et 4 L/ha respectivement pour les épandages au sol et aériens. Les débits ont été calculés à partir des vitesses de pulvérisateur et des largeurs types de bande traitée (Matthews, 1979).

Variables relatives à l'effet biologique

Plusieurs facteurs influent sur l'impact biologique de la perméthrine sur les organismes aquatiques, notamment la quantité de perméthrine entrant dans la nappe d'eau, la formule de la perméthrine, la sensibilité et le comportement de l'organisme, les facteurs de dilution comme le rapport surface/volume, l'écoulement de l'eau et les précipitations, les facteurs relatifs à la qualité de l'eau comme le pH, la concentration ionique et les matières en suspension, le type et la quantité de substrat et d'autres facteurs influant sur l'adsorption et des facteurs météorologiques comme la température et la lumière.

On a utilisé le scénario du pire cas possible suivant lors du calcul du rapport mortalité/concentration pour la perméthrine. Premièrement, la formule était typique des émulsions de perméthrine à base d'eau utilisées en foresterie. Les organismes utilisés dans le cadre de cette étude étaient les larves de stégomyie (*Aedes aegypti*) (insecte : diptères), et les gammares (*Gammarus pseudolimnaeus*) (crustacé: amphipodes). Ces deux organismes sont sensibles à la perméthrine (tableau 1) et ont une réaction semblable à plusieurs arthropodes.

Les facteurs de dilution n'ont pas été pris en compte dans le scénario du pire cas possible pour cette partie de l'étude, mais plutôt dans la section de modélisation. Les facteurs relatifs à la qualité de l'eau ont été établis en utilisant de l'eau de rivière pour l'expérience mortalité/concentration, d'où l'obtention de valeurs types de pH, de concentration ionique, etc. Étant donné que la perméthrine est un composé lipophilique, presque insoluble dans l'eau et rapidement adsorbé à la matière organique (Sharom et Solomon, 1981), les matières solides présentes dans les échantillons d'eau ne constituaient qu'une faible quantité de sédiments en suspension présents dans l'eau de rivière, limitant donc l'élimination du composé par adsorption.

Tableau 1. Toxicité de la perméthrine pour divers poissons et divers arthropodes aquatiques

Espèces testées	Produit testé[a]	Conditions de l'essai[b]/ température (°C)	Toxicité	Valeur de la toxicité (ppb)	Référence
Poisson					
Truite arc-en-ciel (*Salmo gairdneri*)	CE	S/12-26	CL 50 de 24 h	8,0	Mulla et collab., 1978b
	CE	C/13	CL 50 de 24 h	115	CNRC, 1986
Touladi (*Salvelinus fontinalis*)	T	C/13	CL 50 de 24 h	72	CNRC, 1986
Saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*)	T	S/12	CL 50 de 24 h	2,2	CNRC, 1986
Saumon coho (*Oncorhynchus kisutch*)	T	S/12	CL 50 de 24 h	25	CNRC, 1986
Arthropodes					
Larves de stégomyie (*Aedes aegypti*)	CE	S	CL 50 de 72 h/CL 95	1,3/6,9	(étude actuelle)
Gammare (*Gammarus pseudolimnaeus*)	CE	S	CL 50 de 48 h/CL 95	0,37/0,61	(étude actuelle)
Nymphe d'éphémère fouisseuse (*Hexagenia rigida*)	-	S	CL 50 de 6 h	0,58-2,06	Friesen 1981
Nymphe d'éphémère (*Baetis rhodani*)	CE	C	CL 90-95 de 24 h après une heure d'exposition	1,0	Muirhead-Thompson 1978
Larves de phryganes (*Hydropsyche pellucidula*)	CE	C	CL 90-95 de 24 h après une heure d'exposition	100,0	Muirhead-Thompson 1978
Brachycentrus subnubilis	CE	C	CL 90-95 de 24 h après une heure d'exposition	1,0	Muirhead-Thompson 1978
Daphnies (*Daphnia magna*)	T	S/20	CL 50 de 48 h	0,2-0,6	Stratton et Corke, 1981
Aselle (*Asellus aquaticus*)	T	S&C/20	Seuil létal	0.3	Abram et collab., 1980
Crevette d'eau douce	CE	C/17,5	CL 90-95 de 24 h après une heure d'exposition	1,0	Muirhead-Thompson 1978
Écrevisse (*Procambarus clarkii*)	CE	S/24	CL 50 de 96 h	0,39	Jolly et collab., 1978

[a] T = produit technique (ingrédient actif) EC = concentré émulsifiable.
[b] S = statique C = courant continu.

Variables de la modélisation mathématique

On a établi un modèle mathématique pour prévoir la mortalité causée par l'utilisation de diverses zones-tampons autour d'épandages sur bandes multiples. Lors de l'établissement de la zone-tampon, il est important de tenir compte de l'effet de l'épandage sur bandes multiples étant donné que la quantité totale d'ingrédient actif appliquée augmente proportionnellement au nombre de bandes d'épandage, ce qui augmente la largeur de la zone-tampon nécessaire. Le modèle informatisé qui a servi à calculer le dépôt de pulvérisation à la surface de l'eau avec les mesures du dépôt obtenues après épandage sur une seule bande a été utilisé pour tenir compte des effets de l'épandage sur bandes multiples.

La largeur de la zone-tampon requise autour d'un épandage de pesticide augmente proportionnellement à la quantité totale d'ingrédient actif appliquée qui dépend de la dose d'ingrédient actif et de la superficie traitée. La dose d'ingrédient actif adoptée est la dose maximale permise. On a également utilisé dans ce calcul la plus grande superficie de traitement pour chaque type d'épandage.

Deux autres hypothèses associées au plan d'eau tamponné ont également été faites dans l'établissement de ce modèle. Premièrement, on a adopté un plan d'eau stagnante plutôt que de l'eau courante pour le modèle. Il s'agit du pire cas étant donné que l'ingrédient actif se dilue plus rapidement dans l'eau courante que dans l'eau stagnante, réduisant ainsi la mortalité. Deuxièmement, pour calculer la concentration de perméthrine dans l'eau, on a supposé que l'ingrédient actif déposé à la surface de l'eau se mélangait uniformément dans le plan d'eau.

Équipement et méthodes

Expérience de dispersion du nuage de pulvérisation

Site et couvert

Le site choisi pour l'expérience de dispersion du nuage de pulvérisation était un endroit presque plat d'environ 18 ha près du point repère 83°34'O, 46°28'N. Avec la direction du vent choisie pour les essais de pulvérisation, la bande de terrain face au vent était constituée d'une étendue de terrain presque plat d'environ 2 km, couverte d'une forêt mélangée de conifères et de feuillus dont la hauteur du couvert variait de 3 à 12 m.

Le site était couvert d'une plantation de conifères plantés en 1970 avec des épinettes blanches d'une densité d'environ 3 300 tiges par hectare. Le matériel sur pied constitué d'arbres du peuplement final était d'environ 74 %. Le matériel sur pied total était de 83 %. La composition du couvert a été mesurée sur 100 lots d'un milli-acre disposés en forme de grille, espacés de 20 m d'un côté et de 25 m de l'autre. Les résultats figurent au tableau 2. D'après les différents types d'éléments de rugosité face au vent et sur le site, la couche-limite atmosphérique et la direction du vent choisies étaient considérées typiques d'une région boisée.

Tableau 2. Composition du couvert végétal

Espèce	Densité des plantes (Nombre moyen des tiges/ha)	Hauteur des plantes (Moyenne/E.-T.) (m)
Épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss)	3 287	0,83/0,72
Peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.)	914	2,56/2,43
Pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.)	346	1,25/2,07

Mesures météorologiques

Les mesures météorologiques ont été utilisées pour choisir les conditions de pulvérisation appropriées et caractériser les conditions existant au cours des épandages de pulvérisation. Le vecteur vitesse du vent a été mesuré à 2 et 10 m au-dessus du sol avec des anémomètres à coupelles montés sur des bivanes ('VectorVanes'Mk3, Meteorology Research Inc., Altadena, CA). Ces instruments ont une vitesse seuil d'environ 0,50 m/s et une constante de distance d'environ 0,75 m (spécifications du fabricant). Les données obtenues à l'aide de ces instruments ont également été utilisées pour évaluer les niveaux de turbulence.

La température de l'air a été évaluée aux mêmes hauteurs avec des thermistors (YSI 44018, Yellow Springs Instrument Co., Yellow Springs, Ohio) abrités de façon à éviter le réchauffement par rayonnement. L'humidité relative a également été mesurée au cours des essais de pulvérisation; cependant, en raison du brassage de l'air turbulent, ces mesures ne devaient être prises qu'à une seule position pour caractériser la couche-limite. Les signaux électriques émis par les instruments météorologiques ont été échantillonnés à 1 Hz, enregistrés et traités à l'aide d'un système d'acquisition des données sur micro-ordinateur. Les essais de pulvérisation ont été menés comme prévu dans une couche-limite atmosphérique stable, avec des vents légers, à une HR relativement faible, et à des températures de l'air modérément élevées.

Paramètres de l'épandage de pulvérisation

a) Épandage au sol

Le volume et la dose d'épandage prévus de perméthrine étaient respectivement d'environ 1 L/ha et 35 g/ha d'ingrédient actif par bande traitée d'une largeur de 10 m. On a choisi d'utiliser un brumisateur à dos pour cet épandage (modèle Solo 423, Solo Klienmotoren GMBH, 7032 Sindelfingen 6, Postfach 20, Allemagne de l'Ouest) utilisé avec des dispositifs ULV, notamment un disque rotatif pneumatique. Le débit du liquide était d'environ 60 mL/min de façon à fournir la dose de volume requise de 1 L/ha par bande traitée d'une largeur de 10 m, la vitesse d'épandage étant celle de la marche, soit environ 1 m/s. L'obturateur du brumisateur était réglé au maximum de façon à fournir une vitesse de l'air maximale. Le mélange du réservoir était une émulsion composée de 3,5 % en poids (35 g d'ingrédient actif par litre de mélange) de perméthrine dans l'eau préparée à partir d'Ambush® 500EC (Chipman Inc., Stoney Creek [Ontario] L8G 3Z1).

La configuration de la ligne de pulvérisation constituait une caractéristique importante de l'expérience. Les mesures du dépôt moyen sous le vent dans une seule bande étaient nécessaires pour établir le modèle des épandages sur bandes multiples. Dans l'épandage expérimental du nuage de pulvérisation, on a utilisé des bandes superposées sur une même bande de terrain. L'accroissement moyen du dépôt résultant d'une seule largeur d'épandage était calculé d'après les dépôts mesurés. En raison de l'utilisation de lignes de pulvérisation multiple et du doublage des collecteurs au cours de cette expérience, on a dû faire la moyenne des mesures du dépôt, réduisant ainsi la variabilité des dépôts causés par la turbulence atmosphérique, ce qui donne une meilleure évaluation de l'accroissement moyen du dépôt sur une seule largeur d'épandage. Dans l'épandage au sol, deux lignes de pulvérisation perpendiculaires au vent ont été faites sur la même bande de terrain, d'une longueur de 100 m chacune. Les lignes de pulvérisation ont été faites à la vitesse de marche, soit environ 1 m/s, la lance tenue à hauteur de la taille, soit environ 1,25 m, et dirigée sous le vent pour reproduire les conditions opérationnelles.

Les gouttelettes produites par le brumisateur à dos ainsi réglé et la formule à base d'eau utilisée avaient un diamètre d'environ 50 µm. Cette estimation est basée sur une étude de Clayphon (1974) et part du fait que dans le cas actuel et dans les conditions de l'étude mentionnée, l'eau représentait plus de 96 % du mélange du réservoir, donnant des propriétés physiques semblables (J. Picot, communication personnelle).

La longueur des lignes de pulvérisation était suffisante pour assurer que les dépôts mesurés étaient représentatifs d'une ligne infinie, et donner ainsi les mesures du pire cas. Payne (1983) donne une brève explication de l'importance de la longueur de la ligne. Pour calculer de façon précise la puissance de la source de contamination (c'est-à-dire les grammes d'ingrédient actif par mètre de bande traitée), on a mesuré le volume du mélange dans le réservoir avant et après l'épandage, ainsi que la longueur de la ligne traitée.

b) Épandage aérien

Le volume et la dose d'épandage de perméthrine prévus étaient respectivement d'environ 4 L/ha et 35 g/ha d'ingrédient actif par bande traitée d'une largeur de 25 m. L'épandage aérien de pesticide a été faite à l'aide de 4 pulvérisateurs Micronair AU3000 montés sur un Cessna Ag-truck. Les pulvérisateurs ont été équipés de cages numéro 20 et de pales formant un ventilateur de 34 cm de diamètre, chaque pale ayant un angle de 25°. L'aéronef volait à environ 51,5 m/s (100 nœuds ou 115 milles/h) imprimant une vitesse de rotation de la cage du pulvérisateur d'environ 9 700 tours/min. Les restricteurs variables ont été réglés à 9 pour tous les pulvérisateurs et la pression interne était d'environ 200 kPa (30 lb/po^2), assurant un débit moyen d'environ 7,5 L/min par pulvérisateur, soit 30 L/min au total. Le mélange du réservoir était une émulsion de 0,88 % en poids de perméthrine dans de l'eau, préparé à partir d'Ambush 500 EC.

Quatre lignes de pulvérisation perpendiculaires au vent ont été faites sur la même bande de terrain, chacune mesurant 250 m de long, à environ 14 m au-dessus du sol. Les gouttelettes produites par les Micronair AU3000 avec les réglages et la formule à base d'eau utilisés avaient un diamètre d'environ 75 µm (Matthews, 1979), en utilisant le même raisonnement présenté dans le cadre de l'épandage au sol. Les lignes de pulvérisation étaient suffisamment longues pour que les mesures représentent la ligne de longueur infinie du pire cas possible.

Mesures de la dispersion du nuage de pulvérisation

Les dépôts de pulvérisation à la surface de l'eau à plusieurs distances sous le vent de la bande traitée étaient nécessaires pour calculer les zones-tampons autour des plans d'eau en modélisant les épandages à bandes multiples. Pour mesurer le dépôt à la surface de l'eau, le nuage de pulvérisation a été échantillonné à l'aide de collecteurs ressemblant du point de vue aérodynamique à la surface de l'eau. L'écoulement de l'air au-dessus des collecteurs était semblable à l'écoulement au-dessus de la surface de l'eau, et ainsi le dépôt des gouttelettes de pulvérisation était censé être à peu près le même.

Chaque collecteur était constitué d'une plaque de verre carrée de 0,2 m de côté, placée sur une feuille de plastique carrée de 2 m de côté, fixée sur une superficie semblable exempte de végétation. Cette configuration donnait une surface lisse, légèrement ondulée, semblable du point de vue aérodynamique à celle de l'eau. Cinq collecteurs ont été placés à chaque station d'échantillonnage, disposés en une ligne perpendiculaire au vent, espacés de 3 m, centre à centre, comme l'indique la figure 1 (a).

Les stations d'échantillonnage étaient placées à 30, 50, 100, 150 et 200 m sous le vent de la bande traitée pour l'épandage au sol et à 50, 100, 200, 400 et 500 m pour l'épandage aérien, comme l'indique la figure 1b. Les directions moyennes du vent au cours des épandages s'écartaient de 10° de la direction prévue, et ainsi les distances sous le vent des stations d'échantillonnage correspondaient à un écart de 2 % par rapport aux valeurs prévues.

Pour s'assurer que les collecteurs reçoivent des dépôts représentatifs, on attendait jusqu'à 10 min après la dernière pulvérisation avant de prélever les échantillons pour permettre l'advection et le dépôt du nuage de pulvérisation. Le temps nécessaire était calculé à partir de la vitesse du vent au cours de chaque expérience.

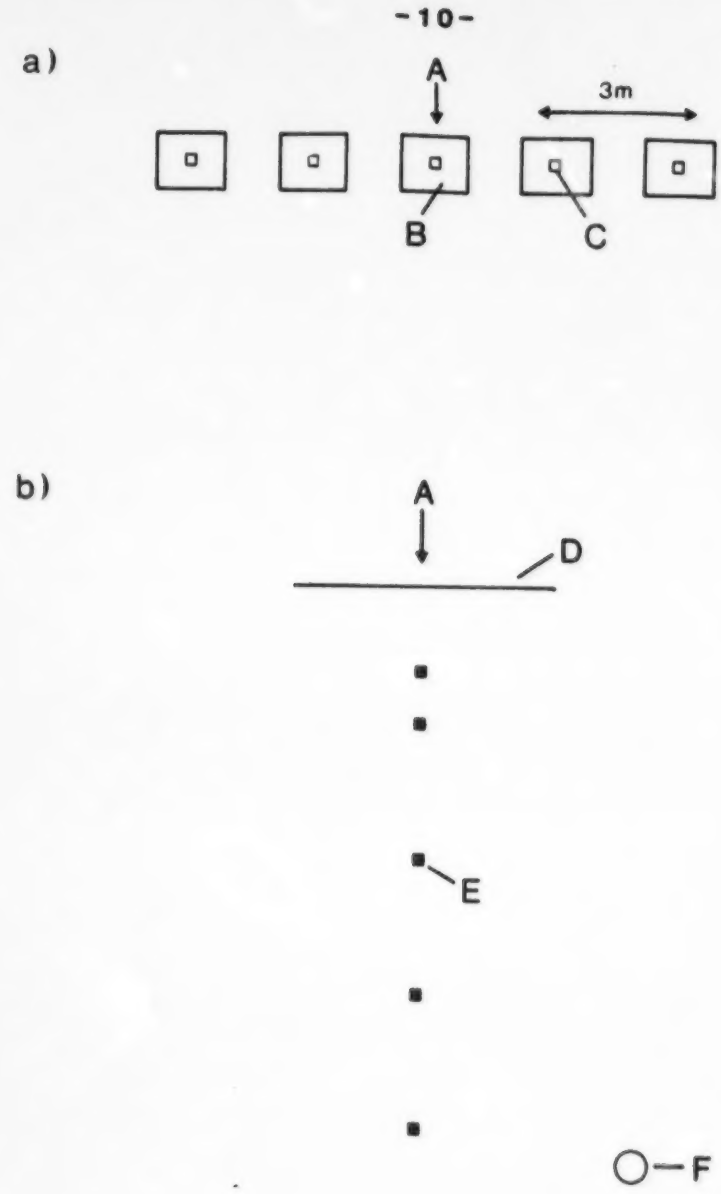


Figure 1a. Disposition des collecteurs aux stations d'échantillonnage.
A- direction du vent, B - feuille de plastique, C - plaque de verre.

Figure 1b. Disposition typique d'un site expérimental.
D- bande traitée, E - station d'échantillonnage, F - station météorologique.

La quantification de l'ingrédient actif se faisait de la façon suivante. Les dépôts de pulvérisation étaient rincés avec de l'hexane à mesure qu'ils étaient recueillis sur les plaques de verre. Chaque échantillon comprenait les dépôts d'ingrédient actif de toutes les plaques d'une même station. Les échantillons étaient mis en bouteille et immédiatement placés dans une glacière avec des coussins frigorifiques et ensuite transportés dans un congélateur où ils étaient entreposés à environ -4°C. La quantité totale d'ingrédient actif prélevée sur les cinq plaques de verre de chaque station d'échantillonnage était quantifiée par chromatographie en phase gazeuse (CPG), et on supposait que cette quantité était approximativement égale au dépôt moyen de pulvérisation (g/m^2) à la surface de l'eau à cette distance.

Analyse des résidus

La quantification de la perméthrine par CPG se faisait de la façon suivante. Chaque échantillon était séché dans une colonne de Na_2SO_4 anhydre, et évaporé par détente jusqu'à un volume d'environ 2 mL. L'échantillon a été réduit davantage jusqu'à un volume de 1 mL à l'aide d'un évaporateur N-Evap (Organomation Inc., Shrewsbury, MA, USA). L'échantillon était ensuite nettoyé dans un Florisil® et des microcolonnes à charbon de bois.

L'analyse CPG a été faite à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse HP 5730A équipé d'un détecteur à capture d'électron Ni-63. La colonne, le détecteur et les points d'injection fonctionnaient respectivement à des températures de 220, de 300 et de 250°C. Le gaz porteur était un mélange d'argon et de méthane (95/5 v/v) utilisé à un débit de 30 mL/min. La colonne CPG avait une longueur de 1,22 m et un diamètre intérieur de 2 mm, et était garnie avec 6 % de QF-1 plus 3 % de DC-200 sur Chromosorb W HP 80/100.

Avec cette configuration, le temps de rétention de la perméthrine était d'environ 10 min. Les deux isomères de la perméthrine (*cis* et *trans*) présents dans l'Ambus 500 EC avaient des temps de rétention légèrement différents et ont été quantifiés séparément. La perméthrine a été quantifiée en mesurant la hauteur des pics du détecteur qui ont ensuite été interprétés en les comparant avec les étalons analytiques injectés avant et après chaque échantillon. La limite de détection de la perméthrine dans cette étude était d'environ 80 ng.

Mesures de la mortalité

L'expérience consistant à mesurer le rapport mortalité/concentration chez les larves de stégomyie a été faite de la façon suivante. L'Ambush 500 EC a été mélangé avec de l'eau dans les mêmes proportions que celles utilisées dans les essais de pulvérisation (0,1 % d'ingrédient actif au poids), et plusieurs bocaux de verre contenant 0,50 L d'eau de rivière ont été dosés de façon à constituer des doubles de diverses quantités de ce mélange pour donner des concentrations globales de perméthrine de 0,05, 0,1, 0,2, 0,4, 0,8, 1,2, 1,6, 2,4, 3,2, 4,8, 6,4, 12,8 et 25,6 ppb (en poids). Les échantillons d'eau ont ensuite été agités pour répartir l'ingrédient actif de façon égale. 20 larves de stégomyie (***Aedes aegypti***) du troisième et du quatrième stades larvaires ont été placées dans chaque contenant qui ont ensuite été entreposés dans une pièce à milieu contrôlé à 20°C. Le taux de mortalité final est celui obtenu après 72 h. Une expérience-témoin a également été menée pour mesurer la mortalité naturelle. On a observé un taux de mortalité de 100 % à des concentrations de 6,4 ppb et plus.

Le rapport mortalité/concentration pour les gammares a été mesuré au cours d'une expérience semblable à celle des larves de stégomyie, sauf que le taux de mortalité final était celui après 48 h.

Dans le cas des larves de stégomyie, des bioessais ont eu lieu au cours des essais de pulvérisation à l'aide de la méthode suivante. De petites mares d'eau de rivière artificielles ont été exposées à un nuage de pulvérisation à diverses distances sous le vent de la bande traitée. Les mares

comprenaient des plateaux en aluminium couvrant une superficie de 0,15 m^2, remplis jusqu'à une profondeur d'environ 7 cm avec 10 L d'eau, et partiellement enfouis dans le sol de façon que la surface d'eau arrive presque au niveau du sol. Après l'épandage de pulvérisation, l'eau de ces bassins a été brassée, des échantillons de 0,5 L d'eau ont été prélevés et placés dans des bocaux dans lesquels on a introduit 20 larves de stégomyie du troisième et du quatrième stades larvaires. Ces bocaux étaient ensuite entreposés dans un compartiment à milieu contrôlé à 20°C. Le taux de mortalité a été mesuré après 72 h. Les résultats de ces bioessais ont été utilisés pour évaluer les résultats du modèle.

Résultats et analyses

Mesures météorologiques

On a effectué un essai pour chacun des épandages au sol et aérien. Dans les deux essais, les mesures météorologiques ont été faites tout au long de l'épandage et de la dispersion du nuage de pulvérisation. Les mesures ont commencé au début de la première ligne de pulvérisation et se sont poursuivies jusque après l'advection du dernier nuage de pulvérisation au-dessus de la station d'échantillonnage sous le vent la plus éloignée. Les données météorologiques couvraient une période d'environ 10 min pour l'épandage au sol, et de 15 min pour l'épandage aérien. Les valeurs moyennes et les écarts-types des paramètres importants au cours de toute la période d'épandage et de dispersion du nuage de pulvérisation sont présentés au tableau 3.

La stratification thermique des couches-limites dans lesquelles les lignes de pulvérisation ont été émises, aussi bien dans les épandages au sol que dans les épandages aériens, était stable et la turbulence était donc atténuée par la sous-pression hydrostatique. Le nombre de Richardson compare la demande en énergie nécessaire pour maintenir la turbulence avec l'épuisement de cette énergie par les forces d'atténuation. Les valeurs obtenues confirment qu'il y avait convection forcée, atténuée dans la couche-limite. Ces conditions sont typiques d'une soirée à faible couverture nuageuse, lorsque le refroidissement radiatif du sol entraîne une réduction de la température de l'air immédiatement au-dessus du sol, mais qu'un peu plus haut, l'air demeure chaud, formant un gradient de température positif.

Mesures du dépôt de pulvérisation

La figure 2a indique les mesures du dépôt de perméthrine sur les plaques de verre horizontales à diverses distances sous le vent d'un épandage au sol sur une bande, avec une dose d'ingrédient actif de 35 g/ha sur une largeur de 10 m. Le dépôt est exprimé en microgrammes d'ingrédient actif par mètre carré de surface horizontale. La figure 2b indique les mesures du dépôt de perméthrine sur des plaques de verre horizontales à diverses distances sous le vent d'un épandage aérien, avec une dose d'ingrédient actif de 35g/ha sur une largeur de 25 m. Les données expérimentales des deux types d'épandage ont été ajustées en fonction d'une dose d'épandage d'ingrédient actif de 35 g/ha en divisant le nombre obtenu par le nombre de bandes traitées.

Pour évaluer le rapport mathématique entre le dépôt de pulvérisation sur une surface d'eau simulée et une distance sous le vent, des droites de régression curvilinéaire ont été adaptées aux données à l'aide d'un programme statistique informatisé pour l'analyse de régression non linéaire. D'après des études précédentes résumées par Pasquill (1974) sur la dispersion du nuage de pulvérisation, le rapport dépôt/distance, au-delà de la distance du dépôt maximal, est évalué comme suit:

$$J = A.x^B \qquad \text{Équation 1}$$

où J est le dépôt de pulvérisation ($\mu g/m^2$), x la distance sous le vent de la bande traitée, et A et B sont les constantes. Les valeurs A et B ainsi que les coefficients de détermination (R^2) pour les lignes de régression sont données au tableau 4. Les valeurs de l'exposant (B) sont typiques d'une dispersion de nuage de pulvérisation ULV (par exemple Payne, 1983).

Ces droites de régression sont données sous la forme nécessaire pour modéliser le dépôt à partir de bandes multiples, avec un débit d'épandage d'ingrédient actif de 35 g/ha et des largeurs données. Toutefois, avec l'ajustement mathématique approprié, ces valeurs peuvent être utilisées pour modéliser le dépôt et évaluer les zones-tampons nécessaires pour d'autres doses d'épandage de perméthrine et d'autres largeurs de bandes traitées.

Tableau 3. Mesures météorologiques au cours des essais au sol et aérien (moyenne/E.-T.)

Paramètre	Essai	
	Au sol	Aérien
Date de l'essai	18/7/84	9/8/84
Début de la pulvérisation	21 h 22	20 h 38
Coucher du soleil (heure d'été)	21 h 27	20 h 59
Couche nuageuse (huitièmes)	1-2	3-4
Stabilité de la couche atmosphérique des premiers 10 m	Stable	Stable
Force de Beaufort	3 (petite brise)	2 (brise légère)
Vitesse du vent à 10 m (m/s)	3,8/0,9	2,8/0,7
Vitesse du vent à 2 m (m/s)	1,6/0,9	1,6/0,6
Température de l'air à 10 m (°C)	15,8/0,1	20,1/0,1
Température de l'air à 2 m (°C)	14,8/0,1	18,9/0,1
Humidité relative (%)	64	62
Intensité de la turbulence (w) à 10 m	0,15	0,13
Nombre de Richardson (2-10 m)	0,05	0,2

Mesures de la mortalité

Les données sur la mortalité/concentration de l'analyse Probit ont donné respectivement les rapports suivants pour les larves de stégomagyie et les gammares:

$$y = 4{,}796 + 2{,}21\,x, \qquad \text{Équation 2}$$

et

$$y = 8{,}277 + 7{,}525\,x, \qquad \text{Équation 3}$$

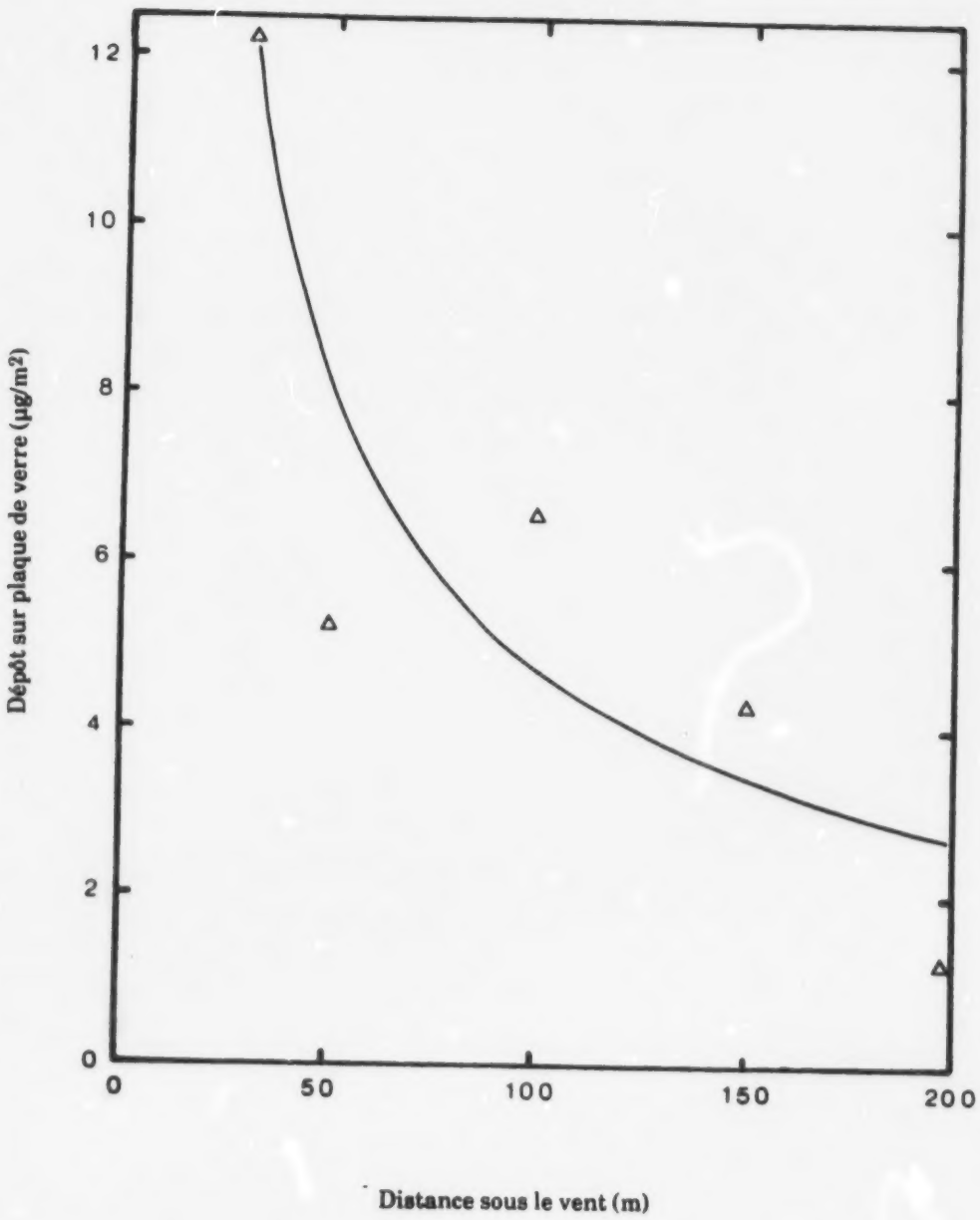


Figure 2a. Dépôts de perméthrine mesurés sur des plaques de verre à différentes distances sous le vent de l'épandage au sol sur une seule bande de terrain à raison de 35 g/ha d'ingrédient actif, avec ligne de régression.

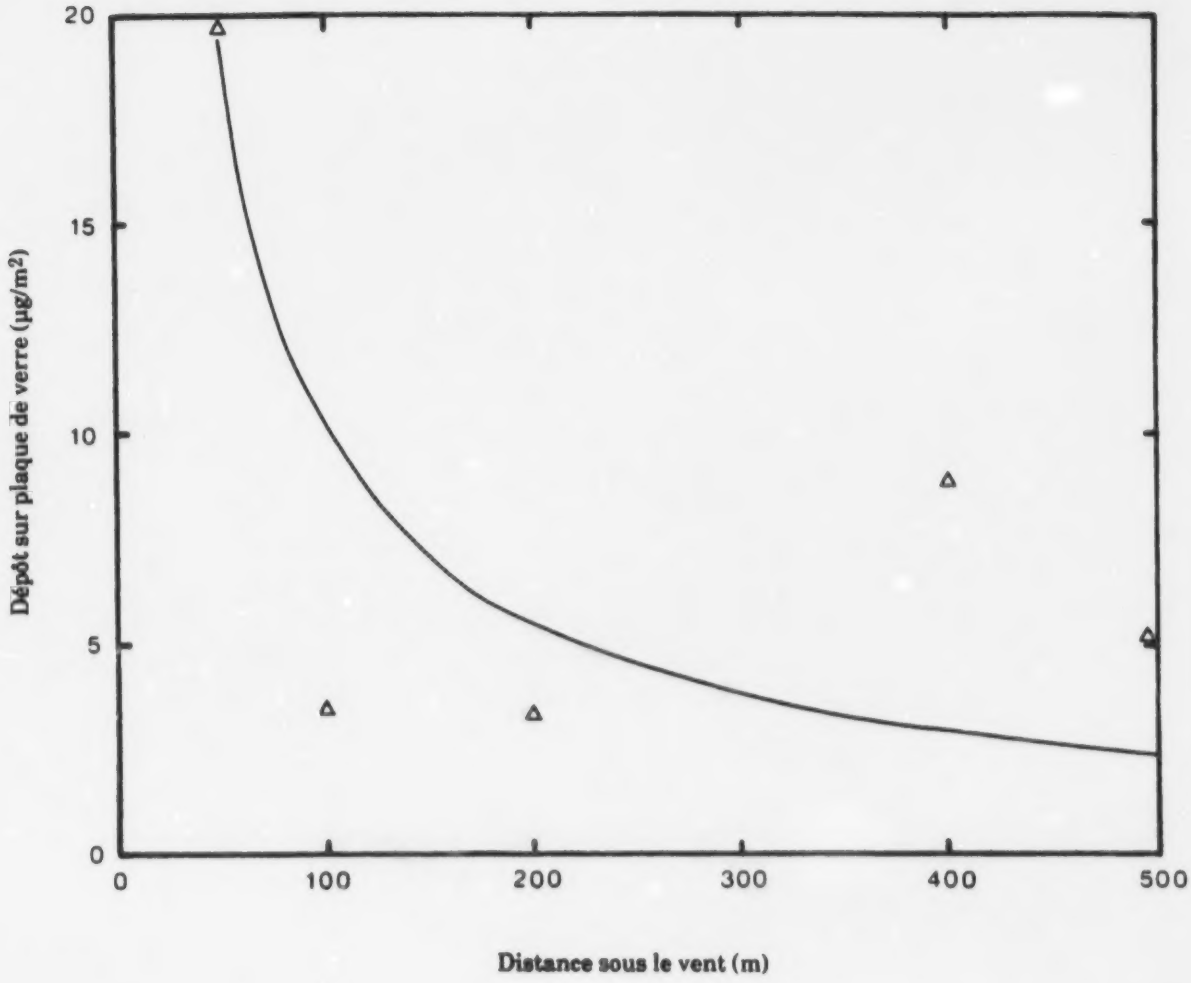


Figure 2b. Dépôts de perméthrine mesurés sur des plaques de verre à différentes distances sous le vent d'un seul épandage aérien à raison de 35 g/ha d'ingrédient actif, avec ligne de régression.

où y est la mortalité Probit et x le log de la concentration de perméthrine mesurée en ppb. Dans le cas des larves de stégomyie, les valeurs CL_{50} et CL_{95} étaient respectivement de 1,3 et de 6,9 ppb, et respectivement de 0,37 et de 0, 61 ppb pour les gammares. D'après ces mesures, il est évident que la mortalité chez les populations de gammares augmentait plus rapidement avec la concentration de perméthrine que chez les populations de larves de stégomyie. Des publications ultérieures analyseront plus à fond les données sur la mortalité et la concentration.

Tableau 4. Détails des droites de régression curvilinéaire ajustées en fonction des mesures du dépôt de pulvérisation à diverses distances sous le vent

Type d'épandage	A	B	R^2
Au sol	140	-0,78	0,7881
Aérien	660	-0,90	0,5175

Modélisation du dépôt de pulvérisation sur bandes multiples

L'augmentation du dépôt de pulvérisation à diverses distances sous le vent des épandages de perméthrine sur bandes multiples a été calculée en ajoutant les dépôts de l'épandage sur chaque bande, dans les conditions du pire cas possible. Les dépôts de pulvérisation des épandages au sol et aériens sur bandes multiples ont été modélisés séparément. On a choisi respectivement des superficies de traitement de 9 et de 900 ha et des largeurs traitées de 10 et de 25 m pour les épandages au sol et aériens. Bien qu'on puisse utiliser des superficies de traitement plus grandes, on a jugé qu'il n'était pas raisonnable de faire des recommandations relatives aux zones-tampons avec ces cas extrêmes. Le modèle supposait des superficies de traitement de 300 m sur 300 et de 3 km sur 3 km, et un total de 30 et 120 bandes traitées ont été utilisées pour la modélisation des épandages au sol et aériens respectivement.

Un programme informatique a été écrit pour calculer et additionner les dépôts de pulvérisation de chaque bande perpendiculaire au vent traitée dans le cadre d'une épandage sur bandes multiples. Le programme utilisait les rapports dépôt/distance basés sur la courbe de régression curvilinéaire provenant des mesures expérimentales des épandages au sol et aériens (équation 1 et tableau 4), et une dose d'épandage d'ingrédient actif de 35 g/ha représentant le pire cas possible. Les figures 3a et 3b donnent les dépôts de pulvérisation calculés pour des épandages de perméthrine sur bandes multiples en fonction de la distance sous le vent de la superficie traitée respectivement pour les épandages au sol et aériens.

Évaluation de la teneur et de l'importance des effets biologiques du dépôt à la surface de l'eau

Pour évaluer l'effet biologique du dépôt de pulvérisation (g/m^2) d'un épandage de perméthrine sur bandes multiples, on a utilisé les données sur la mortalité et la concentration relatives à deux espèces indicatrices sensibles et à la truite arc-en-ciel (*Salmo gairdneri*). Les mesures de la toxicité de la perméthrine pour la truite arc-en-ciel ont été faites à partir d'une étude signalée par Mulla et collab. (1978a), qui ont trouvé des valeurs de CL_{50} et CL_{95} respectives de 8 et de 17 ppb. Les tableaux 5 et 6 indiquent la mortalité prévue chez les populations de larves de stégomyie et de gammare dans des plans d'eau à des profondeur de 0,10 0,25 0,50 et 1 m, à diverses distances sous le vent d'épandages de perméthrine sur bandes multiples, à raison de 35 g/ha d'ingrédient actif représentant le pire cas possible. Ces taux de mortalité ont été calculés en convertissant les dépôts de pulvérisation en concentration, et en supposant une distribution égale à toutes les profondeurs de l'eau; cette concentration a été interprétée à l'aide des rapports mortalité/concentration mesurés (équations 2 et 3).

Le tableau 7 indique la mortalité prévue chez les populations de truite arc-en-ciel dans des plans d'eau d'une profondeur de 0,10 et 0,25 m, à diverses distances sous le vent d'un épandage de perméthrine sur bandes multiples, à raison de 35 g/ha d'ingrédient actif représentant le pire cas possible. À des profondeurs de 0,50 et de 1 m, la mortalité prévue chez la truite arc-en-ciel était inférieure à 0,01 % à toutes les distances calculées.

Sosiak (1983) a démontré que les épandages forestières de perméthrine ne devraient pas causer de mortalité directe chez les poissons. Cette conclusion est également appuyée par les résultats présentés au tableau 7 qui indique que la mortalité de la truite arc-en-ciel est très faible à des doses d'épandage d'ingrédient actif de 35 g/ha. Cependant, les interruptions d'approvisionnement en nourriture pourraient causer une mortalité élevée chez les poissons. Il est donc nécessaire de limiter la mortalité des espèces alimentaires à des niveaux ayant peu d'effet significatif sur l'approvisionnement en nourriture. Le tableau 8 indique les zones-tampons nécessaires pour limiter la mortalité des espèces indicatrices à 20, 30, 40 et 50 % à diverses profondeurs d'eau.

Tableau 5. Mortalité (%) prévue chez les larves de stégomyie et concentrations de perméthrine à diverses profondeurs d'eau et à diverses distances d'épandages sur bandes multiples, à raison de 35 g/ha d'ingrédient actif

Distance sous le vent (m)	Mortalité (%)/concentration (ppb)							
	Au sol				Aérien			
	0,10 m	0,25 m	0,50 m	1 m	0,10 m	0,25 m	0,50 m	1 m
25	45/1,1	16/0,44	5/0,22	1/0,11	68/2,0	33/0,78	13/0,39	4/0,2
50	39/0,93	12/0,37	4/0,19	<1/0.09	64/1,8	30/0,72	12/0,36	3/0,18
100	30/0,72	7/0,27	2/0,14	<1/0,07	60/1,6	28/0,64	11/0,32	2,5/0,16
200	21/0,53	5/0,21	1/0,11	<1/0,05	52/1,3	20/0,52	7/0,26	1,6/0,13

Tableau 6. Mortalité (%) prévue chez le gammare et concentrations de perméthrine à diverses profondeurs d'eau et à diverses distances d'épandages sur bandes multiples, à raison de 35 g/ha d'ingrédient actif

Distance sous le vent (m)	Mortalité (%)/concentration (ppb)							
	Au sol				Aérien			
	0,10 m	0,25 m	0,50 m	1 m	0,10 m	0,25 m	0,50 m	1 m
25	>99,9/1,1	72/0,44	4/0,22	<0,01/0,11	>99,9/2,0	99,4/0,78	58/0,39	2,1/0,2
50	99,9/0,93	50/0,37	1,4/0,19	"/0,09	"/1,8	98,7/0,72	46/0,36	0,9/0,18
100	98,7/0,72	15/0,27	0,06/0,14	"/0,07	"1/1,6	97/0,64	28/0,32	0,3/0,16
200	89/0,53	3/0,21	<0,01/0,11	"/0,05	"/1,3	88/0,52	12/0,26	0,03/0,13

Essai du modèle à l'aide des données de bioessai

Les données de bioessai recueillies au cours des épandages au sol et aériens ont été utilisées pour vérifier la précision du modèle. Les taux de mortalité prévus et observés ont été comparés chez les populations de larves de stégomyie (*Aedes aegypti*) placées dans l'eau prélevée dans les bassins artificiels à diverses distances sous le vent. Les résultats figurent au tableau 9.

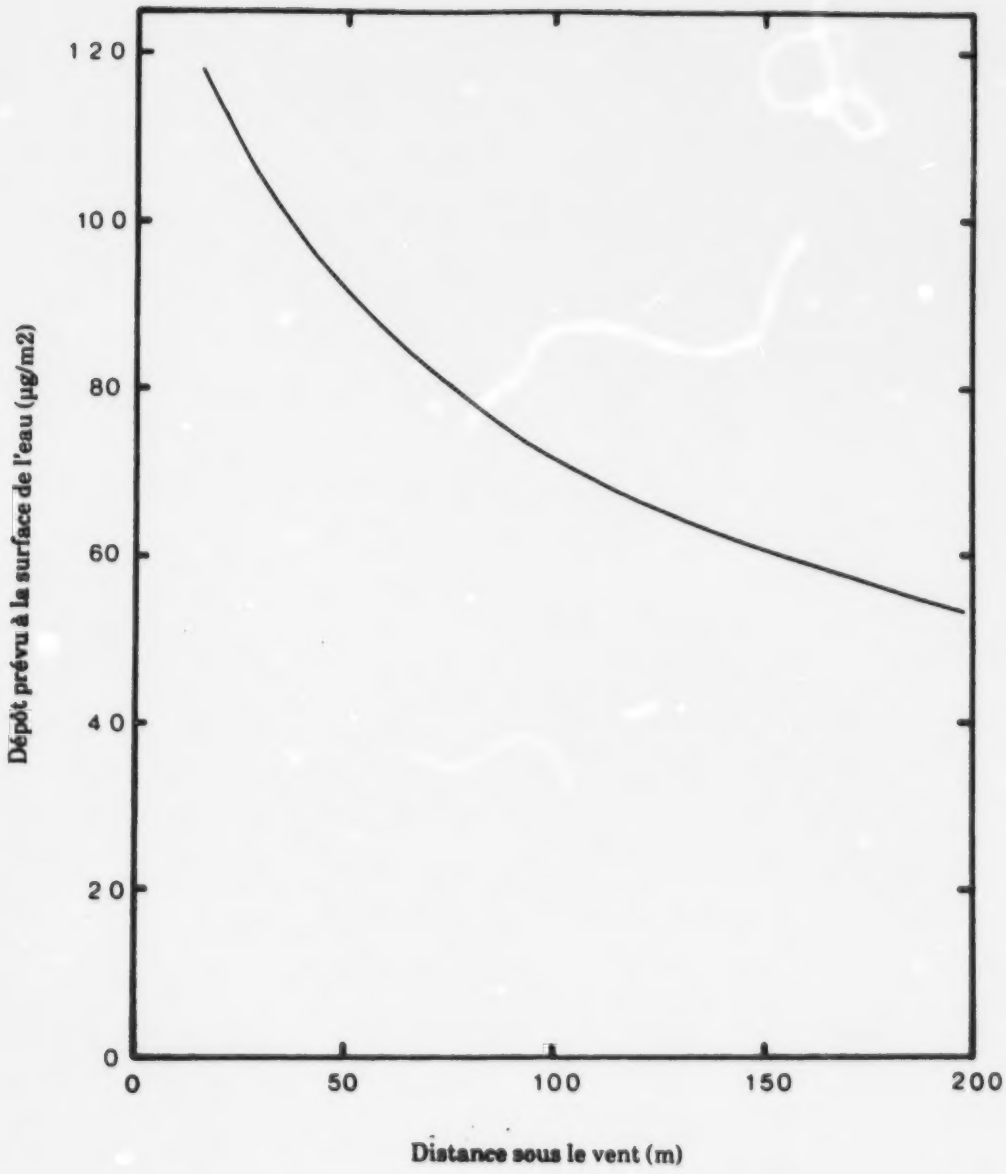


Figure 3a. Modèle de prévision du dépôt de perméthrine à la surface de l'eau en direction horizontale, après un épandage au sol sur bandes multiples sur une superficie de 9 ha, à raison de 35 g/ha d'ingrédient actif.

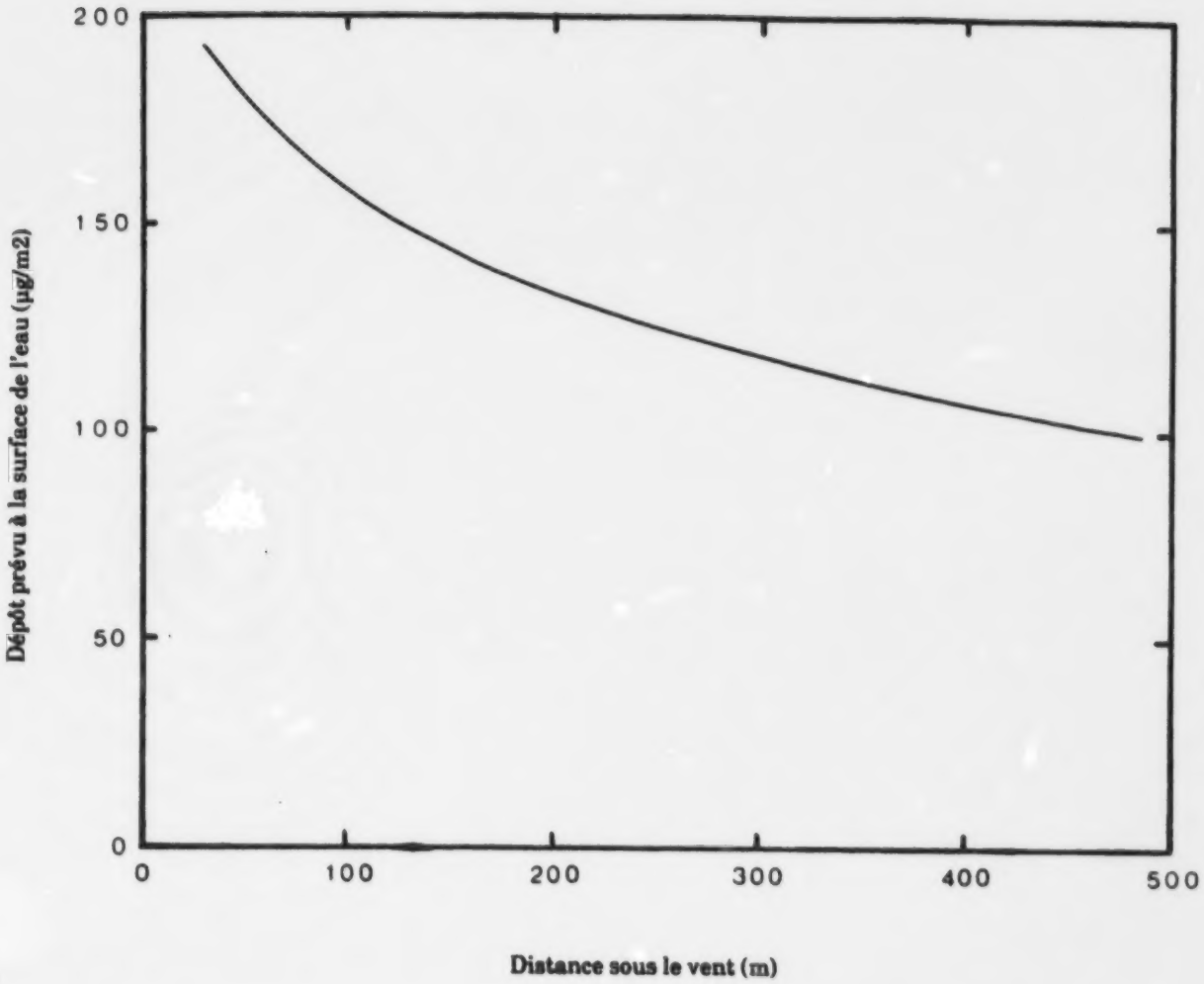


Figure 3b. Modèle de prévision du dépôt de perméthrine à la surface de l'eau en direction horizontale, après un épandage aérien sur bandes multiples, sur une superficie totale de 900 ha, à raison de 35 g/ha d'ingrédient actif.

Tableau 7. Mortalité (%) prévue chez la truite arc-en-ciel et concentrations de perméthrine à diverses profondeurs d'eau et à diverses distances d'épandages sur bandes multiples, à raison de 35 g/ha d'ingrédient actif

Distance sous le vent (m)	Mortalité (%)/concentration (ppb)			
	Au sol		Aérien	
	0,10 m	0,25 m	0,10 m	0,25 m
25	0,04/1,1	<0,01/0,44	1/2	<0,01/0,78
50	0,015/0,93	<0,01/0,37	0,06/1,8	"/0,72
100	<0,01/0,72	"/0,27	0,37/1,6	"/0,64
200	<0,01/0,53	"/0,21	0,12/1,3	"/0,52

Tableau 8. Zones-tampons nécessaires pour limiter la mortalité des espèces indicatrices à divers degrés, à diverses profondeur d'eau

Larves de stégomyie

Mortalité	Au sol				Aérien			
(%)	0,10 m	0,25 m	0,50 m	1 m	0,10 m	0,25 m	0,50 m	1 m
20	215	11	<10	<10	>1,000	230	<10	<10
30	105	<10	<10	<10	>1,000	54	<10	<10
40	45	<10	<10	<10	550	<10	<10	<10
50	<10	<10	<10	<10	250	<10	<10	<10

Gammare

Mortalité	Au sol				Aérien			
(%)	0,10 m	0,25 m	0,50 m	1 m	0,10 m	0,25 m	0,50 m	1 m
20	560	107	<10	<10	>1,000	>1,000	153	<10
30	500	84	<10	<10	>1,000	900	110	<10
40	440	63	<10	<10	>1,000	740	70	<10
50	380	49	<10	<10	>1,000	590	41	<10

La mortalité prévue chez les larves de stégomyie est généralement plus élevée que le taux de mortalité observé, c'est-à-dire que le modèle donnait les valeurs du pire cas possible pour la mortalité de ces larves.

Zones-tampons perpendiculaires au vent et face au vent

Les expériences et la modélisation signalées jusqu'à présent portaient sur l'établissement des zones-tampons sous le vent qui, comme on l'a dit, sont plus larges que les zones-tampons perpendiculaires au vent ou face à celui-ci. Ces deux derniers types de zones-tampons ont été évalués à

partir de mesures de dispersion du nuage de pulvérisation publiées lors d'études précédentes, et à partir de considérations générales sur le comportement du nuage de pulvérisation.

Pour obtenir les données utilisées dans l'établissement des zones-tampons perpendiculaires au vent, on a utilisé un modèle de dispersion du nuage de pulvérisation. Ce modèle était un peu plus compliqué que celui des zones-tampons sous le vent parce qu'il fallait tenir compte des variations du dépôt sous le vent et perpendiculaires au vent. Le dépôt de pulvérisation à partir d'une bande traitée individuellement, à l'extérieur de la superficie traitée dans une direction perpendiculaire au vent, diminue d'une façon gaussienne proportionnellement à la distance perpendiculaire au vent du bord de la superficie traitée (Pasquill, 1974). La largeur de ce dépôt quasi-gaussien augmente proportionnellement à la distance sous le vent parcourue par les nuages. L'étalement perpendiculaire au vent dans une couche-limite stable, c'est-à-dire l'écart-type de la répartition perpendiculaire gaussienne, est proportionnel à x^p, où p est environ 0,6. De plus, la valeur maximale de cette répartition, c'est-à-dire le dépôt de pulvérisation au bord de la superficie traitée, diminue proportionnellement à la distance sous le vent, telle que mesurée dans cette étude. Le dépôt à l'extérieur de la superficie de traitement dans une direction perpendiculaire au vent a été calculé en additionnant les contributions de chaque ligne de pulvérisation, compte tenu de ces deux facteurs. Les dépôts de pulvérisation perpendiculaire au vent, au bord sous le vent de la superficie traitée, ont été calculés étant donné qu'il s'agit là des valeurs du pire cas possible. Les dépôts prévus à certaines distances perpendiculaires choisies ont ensuite été convertis en concentrations dans les nappes d'eau de diverses profondeurs et utilisés pour évaluer la mortalité des espèces indicatrices à l'aide du rapport mortalité/concentration.

Là également, les zones-tampons perpendiculaires au vent, pour des épandages au sol et aériens, ont été calculées séparément. Les conditions météorologiques, la superficie traitée et la dose d'épandage d'ingrédient actif étaient les mêmes que dans le cas de l'évaluation des zones-tampons sous le vent. Les tableaux 10 et 11 donnent le taux de mortalité prévu pour des épandages de perméthrine, à raison de 35 g/ha d'ingrédient actif chez les populations indicatrices dans les nappes d'eau à diverses profondeurs, à diverses distances perpendiculaires au vent par rapport au bord sous le vent de la superficie traitée.

Lorsqu'on évalue les zones-tampons face au vent autour des plans d'eau, la précision du point d'émission du nuage de pulvérisation et du transport des gouttelettes par l'atmosphère est d'une importance primordiale. Lorsqu'il s'agit d'un épandage au sol, le point d'émission du nuage de pulvérisation peut être contrôlé de façon précise en raison de la lenteur de déplacement du pulvérisateur, soit de 0,50 à 2 m/s ou de 2 à 8 km/h. De plus, avec un brumisateur, le mouvement initial sous le vent du nuage de pulvérisation piégé dans le jet d'air se fait à une vitesse type de 30 à 50 m/s (100-180 km/h) (Matthews, 1979), ce qui empêche toute dérive face au vent. Une zone-tampon d'une largeur de 5 m face au vent est probablement adéquate dans le cas d'une épandage au sol.

Tableau 9. Comparaison du taux de mortalité prévu et observé chez les populations d'*Aedes aegypti* exposées dans des bassins artificiels (profondeur d'environ 7 cm) au cours d'épandages au sol et aériens

Distance sous le vent (m)	Mortalité (%)			
	Épandage au sol (35 g/ha d'ingrédient actif)		Épandage aérien (140 g/ha d'ingrédient actif)	
	Prévu	Observé	Prévu	Observé
30	3	2,1	–	–
50	1,2	0,9	39	20
100	<1	1,2	19	2,2
200	<1	0,1	7	0,5
400	–	–	2	0,5

Dans le cas d'un épandage aérien, le point d'émission du nuage de pulvérisation est moins précis que dans le cas d'un épandage au sol en raison de la vitesse supérieure utilisée. De plus, l'aéronef produit des mouvements tourbillonnaires en bout d'aile qui dominent complètement le transport des gouttelettes au cours de l'étape initiale de la vie du nuage de pulvérisation, soit une période de plusieurs secondes. La vitesse de l'air à l'intérieur de ces mouvements tourbillonnaires peut être suffisante pour créer un transport du nuage de pulvérisation face au vent, sur des distances équivalant à l'envergure de l'appareil (Boatwright, 1968). Le dépôt de pulvérisation résultant du transport face au vent des gouttelettes par les mouvements tourbillonnaires créés par l'aéronef dépend de divers facteurs, notamment de l'état de la couche-limite atmosphérique, par exemple la vitesse moyenne du vent, l'intensité de la turbulence et l'altitude de vol de l'appareil. Nous ne possédons actuellement pas suffisamment de preuves expérimentales pour nous permettre d'évaluer avec précision la largeur de la zone-tampon face au vent requise dans le cas des épandages aériens.

Conclusions

Cette étude a été faite dans le but d'élaborer une base scientifique et de recueillir les données nécessaires pour établir les zones-tampons autour des épandages forestiers de perméthrine. Les données présentées aux tableaux 5 à 11 peuvent être utilisées pour évaluer de façon rationnelle les zones-tampons sous le vent et perpendiculaires au vent autour des plans d'eau.

Pour juger de l'importance des réductions des populations d'arthropodes, il faudrait les considérer en fonction de leur principal effet et en fonction de la chaîne alimentaire. La grandeur et la durée des réductions de ces populations sont importantes. On considère qu'une mortalité de 10 à 20 % des arthropodes est tolérable. De plus, Kingsbury et Kreutzweiser (1983) ont montré que la reconstitution des populations d'arthropodes touchées par la toxicité de la perméthrine est rapide.

Si l'on considère qu'un taux de mortalité de 10 % des larves de stégomyie est acceptable, des zones-tampons sous le vent de 10 et de 100 m sont respectivement appropriées pour les épandages au sol et aériens de 35 g/ha d'ingrédient actif ou moins. Ces zones-tampons limitent les concentrations de perméthrine à environ 0,32 ppb, et la mortalité à environ 10 % dans une profondeur d'eau de 0,50 m, qui comprend la majeure partie des eaux stagnantes dans lesquelles vivent des poissons. Par ailleurs, si l'on considère qu'un taux de mortalité de 20 % est tolérable chez les larves de stégomyie, une zone-tampon sous le vent de 10 m est alors appropriée pour les épandages au sol et aériens, à raison de 35 g/ha d'ingrédient actif ou moins. Ces zones-tampons limitent la concentration de perméthrine à environ 0,51 ppb, et la mortalité à environ 20 % dans une profondeur d'eau de 0,50 m.

Tableau 10. Mortalité prévue à la suite d'épandages de perméthrine à raison de 35 g/ha d'ingrédient actif chez les populations de larves de stégomyie dans les plans d'eau à diverses profondeurs, à diverses distances perpendiculaires à la superficie traitée (à partir du bord sous le vent)

Distance perpendiculaire au vent (m)	Mortalité (%)			
	Épandage au sol			
	0,10 m	0,25 m	0,50 m	1 m
5	45	16	5	1
10	34	10	2,5	<1
20	19	4	<1	<1

		Épandage aérien		
10	64	30	12	3,5
20	57	25	9	2,5
30	54	21	7,5	1,9
40	49	18	6	1,4

Tableau 11. Mortalité prévue à la suite d'épandages de perméthrine à raison de 35 g/ha d'ingrédient actif chez les populations de gammares dans les plans d'eau à diverses profondeurs, à diverses distances perpendiculaires à la superficie traitée (à partir du bord sous le vent)

Distance perpendiculaire au vent (m)	Mortalité (%)			
	Épandage au sol			
	0,10 m	0,25 m	0,50 m	1 m
5	>99,9	72	5	<0,1
10	99,5	32	0,3	<0,1
20	85	2	<0,1	<0,1
	Épandage aérien			
10	>99,9	98,7	46	1
20	"	95	25	0,15
30	"	90	15	<0,1
40	"	81	8	<0,1

Des zones-tampons de 15 et de 230 m prévues respectivement pour les épandages au sol et aériens limiteront la mortalité chez le gammare à environ 10 % et la concentration de perméthrine à environ 0,25 ppb dans une profondeur d'eau semblable, tandis que des zones-tampons de 10 et de 150 m sont nécessaires pour limiter la mortalité chez le gammare à environ 20 %, et la concentration de perméthrine à environ 0,29 ppb. Pour limiter la mortalité des larves de stégomyie à moins de 10 % dans une profondeur d'eau de 0,50 m, les zones-tampons perpendiculaires au vent de 5 et de 20 m sont appropriées respectivement pour les épandages au sol et aériens, ou pour une mortalité de 20 %, des zones-tampons perpendiculaires au vent de 5 et de 10 m. Pour obtenir un taux de mortalité chez le gammare inférieur à 10 % dans une profondeur d'eau de 0,50 m, les zones-tampons perpendiculaires au vent de 5 et de 40 m sont appropriées respectivement pour les épandages au sol et aériens, ou des zones-tampons perpendiculaires au vent de 5 et de 25 m pour un taux de mortalité de 20 %. Il faut se rappeler que toutes les zones-tampons proposées partent du bord de la superficie traitée, et non de la dernière bande pulvérisée sous le vent, qui se trouve à une distance égale à une largeur de pulvérisation du bord sous le vent de la superficie traitée.

Les principes et les données produits par cette étude peuvent être utilisés pour établir les zones-tampons sous le vent en cas d'épandages de perméthrine avec d'autres doses d'ingrédient actif, d'autres largeurs de pulvérisation et d'autres superficies traitées. Cependant, à cause des différences au niveau des caractéristiques physiques des pulvérisations, ces données ne s'appliquent pas à

l'évaluation des zones-tampons en cas d'épandages de pesticide faisant appel à un ingrédient actif autre que la perméthrine.

Bibliographie

Abram, F.S.H.; Evins, C.; Hobson, J.A. 1980. Permethrin for the control animals in water mains. Water Research Centre Technical Report 145, Stevenage, England.

Anderson, R.L. 1982. Toxicity of fenvalerate and permethrin to several nontarget aquatic invertebrates. Environ. Entomol. 11:1251-1257.

Boatwright, D. 1968. A study of the influence of wing-tip vortices on the trajectories of particles released from aircraft. Aerophysics and Aerospace Engineering Research Report No. 91, Department of Aerophysics and Aerospace Engineering, Mississippi State University.

Chamberlain, A.C. 1975. The Movement of Particles in Plant Communities. Pages 155-203 *in* J.L. Monteith, ed. Vegetation and the Atmosphere. Volume 1 Principles Academic Press, London, England.

Clayphon, J.E. 1974. The evaluation of a motorized knapsack mistblower for conventional and ULV rates of pesticide épandage. PANS 20:351-357.

Crabbe, R..; Elias, L.; Krzymien, M.; Davie, S. 1980. New Brunswick forestry spray operations: field study of the effect of atmospheric stability on long-range pesticide drift. LTR-UA-52, NAE, NRC, Canada.

Crabbe, R.S.; Elias, L.; Davie, S.J. 1983. Field study of the effect of atmospheric stability on target deposition and effective swath width for aerial forest sprays in New Brunswick, Part II. LTR-UA-65, NAE, NRC, Canada.

Crabbe, R.S.; McCooeye, M.; Elias, L. 1984. Effect of atmospheric stability on wind drift in aerial forest spray trials. Neutral to stable conditions. LTR-UA-73, NAE, NRC, Canada.

Crabbe, R.S.; McCooeye, M.; Elias, L. 1984. Effect of atmospheric stability on wind drift in aerial forest spray trials. Neutral to stable conditions. LTR-UA-82, NAE, NRC, Canada.

Elliot, M.; Janes, N.F.; Potter, C. 1978. The future of pyrethroids in insect control. Pages 443-69 *in* Volume 23, Annual Review of Entomology, Annual Reviews Inc., Palo Alto, California.

Friesen, M.K. 1981. Effects of insecticide permethrin on the aquatic life stages of the burrowing mayfly *Hexagenia rigida* (Ephemeroptera:Ephemeridae). M.Sc. Thesis, U. of Manitoba.

Fuchs, N.A. 1964. The Mechanics of Aerosols. Pergamon Press, Oxford, England.

Green, H.L.; Lane, W.R. 1964. Particulate clouds, dusts, smokes and mists. 2nd ed. E. & F.N. Spon Ltd., London, England.

Jackson, P.S. 1981. On the displacement height in the logarithmic velocity profile. J. Fluid Mech. iii:15-25.

Jolly, A.L.; Avault, J.W.; Koonce, K.L.; Graves, J.B. 1978. Acute toxicity of permethrin to several aquatic animals. Trans. Am. Fish. Soc. 107:825-827.

Joyce, R.J.; Schaefer, G.W.; Allsopp, K. 1981. Distribution of spray and assessment of larval mortality at Annabaglish. Pages 15-46 *in* A.V. Holden and D. Bevan, Eds., Aerial épandage of Insecticide against Pine Beauty Moth, Forestry Commission, U.K.

Kingsbury, P; Kreutzweiser, D. 1983. Recovery studies. Pages 103-112 *in* Permethrin in New Brunswick Salmon Nursery Streams. Inf. Rep. FPM-X-52, Forest Pest Management Institute, Canadian Forestry Service, Sault Ste. Marie, Ontario.

Matthews, G.A. 1979. Pesticide épandage Methods. Longman, London, England.

May,K.R.; Clifford, R. 1967. The impaction of aerosol particles on cylinders, spheres, ribbons and discs. Ann. Occupational Hyg., 10:83-95.

Muirhead-Thompson, R.C. 1978. Lethal and behavioural impact of permethrin (NRDC 143) on selected stream macroinvertebrates. Mosquito News 38:185-190.

Mulla, M.S.; Navvab-Gojrati, H.A.; Darwazeb, H.A. 1978a. Toxicity of mosquito larvicidal pyrethroids to four species of freshwater fishes. Environ. Entomol. 7:428-430.

Mulla, M.S.; Navrab-Gojrati, H.A.; Darwazeb, H.A. 1978b. Biological activity and longevitiy of new synthetic pyrethroids against mosquitos and some nontarget insects. Mosquito News. 38:90-96.

NRCC. Pyrethroids; their effects on aquatic and terrestrial ecosystems. Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality, National Research Council of Canada, NRCC No. 24376, Ottawa, Ont., Canada. 295 p. (in press).

Panofsky, H.A.; Dutton, J.A. 1984. Atmospheric Turbulence. Models and Methods for Engineering épandages. John Wiley & Sons, N.Y.

Pasquill, F. 1974. Atmospheric diffusion: the dispersion of windborne material from industrial and other sources. 2nd ed. Ellis Horwood Ltd., Chichester, England.

Payne, N. 1983. A quantification of turbulent dispersal and deposition of coarse aerosol droplets over a wheat field. Ph.D. Thesis, Cranfield Institute of Technology, Bedfordshire, England.

Riddick, J.A.; Bunger, W.B. 1970. Techniques of chemistry, volume 2: organic solvents; physical properties and methods of purification. 3rd ed. WileyInterscience, New York, U.S.A.

Rogers, R.R. 1979. A short course in cloud physics. 2nd ed. Pergamon Press Ltd. , Oxford, England.

Sharom, M.S.; Solomon, K.R. 1981. Adsorption-desorption, degradation, and distribution of permethrin in aqueous systems. J. Agric. Food Chem. 29:112225.

Sosiak, A. 1983. Caged fish and crayfish studies. Pages 71-80 *in* P.D. Kingsbury, ed. Permethrin in New Brunswick Salmon Nursery Streams. Inf. Rep. FPM-X-52, Forest Pest Management Institute, Canadian Forestry Service, Sault Ste. Marie, Ontario.

Stratton, G.W.; Corke, C.T. 1981. Interaction of Permethrin with *Daphnia magna* in the presence and absence of particulate material. Environmental Pollution. (Series H) 24:135-144.

Sutton, O.G. 1953. Micrometeorology: a study of the physical processes of the lower layers of the Earth's atmosphere. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, N.Y.

Thom, A.S. 1975. Momentum, Mass and Heat Exchange of Plant Communities. Pages 57-109 *in* J.L. Monteith, ed. Vegetation and the Atmosphere Volume 1 Principles. Academic Press, London, England.

Remerciements

Les auteurs désirent remercier le ministère des Ressources naturelles de l'Ontario pour son aide quant au choix du site d'essai et à l'autorisation de l'utiliser, ainsi que Andrij Obarymskyj, Jim Beveridge, John McFarlane et Dave Comba pour leur participation aux essais sur le terrain.